

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta strojní**  
**Institut dopravy**

**Analýza provozu a údržby u vybraných  
typů autobusů**

**Operation and Maintenance for Selected  
Types of Buses Analysis**

Student: Michal Trčka  
Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jan Famfulík, Ph.D.

Ostrava 2010

## Zadání bakalářské práce

Student: **Michal Trčka**  
Studijní program: **B2341 Strojírenství**  
Studijní obor: **2301R002 Dopravní technika**  
Téma: **Analýza provozu a údržby u vybraných typů autobusů**  
**Operation and Maintenance for Selected Types of Buses Analysis**

Zásady pro vypracování:

Cíl:

S využitím empirických dat z provozu a údržby autobusů provést zhodnocení dosažených parametrů.

Osnova:

1. Analýza struktury a stáří vozidlového parku
2. Statistické metody hodnocení parametrů spolehlivosti
3. Odhad dosažených parametrů spolehlivosti autobusů s využitím empirických dat
4. Technické a ekonomické hodnocení získaných spolehlivostních charakteristik

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Holub, J.: Zkoušky spolehlivosti (stochastické metody). VA Brno, 1992
2. Famfulík, J.: Teorie údržby. VŠB – TU Ostrava, 2006. ISBN 80-248-1029-8
3. Daněk, A.: Výpočetní metody obnovy dopravních prostředků. Repronis, Ostrava, 1999. ISBN 80-86122-41-7
4. Podklady provozovatele autobusů


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Famfulík, Ph.D.**

Datum zadání: 18.12.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010



  
doc. Ing. Vladimír Smrž, Ph.D.  
vedoucí katedry

  
prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

### **Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :.....

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce: Michal Trčka

Adresa trvalého pobytu autora práce: Vlasty Vlasákové 964/19

Ostrava 3, Bělský les

700 30

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

TRČKA, M. *Analýza provozu a údržby u vybraných typů autobusů: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2010, 58 s. Vedoucí práce: Famfulík, J.

Bakalářská práce se zabývá analýzou provozu a údržby u vybraných typů autobusů. Řešený vozidlový park tvoří 15 vozidel Karosa B 932 a stejný počet vozidel Solaris Urbino 12 pocházející z provozovny Hranečník Dopravního podniku Ostrava a.s. V úvodu práce je charakterizována struktura a stáří vozidlového parku společně se základními technickými údaji vybraných vozidel. Následně jsou uvedeny statistické metody využité pro hodnocení parametrů spolehlivosti. Pomocí těchto metod a empirických dat z provozu jsou vypočteny dosažené parametry spolehlivosti autobusů, které jsou v závěru práce zhodnoceny z technického a ekonomického hlediska.

**Klíčová slova:** autobus, spolehlivost, náklady na údržbu.

## ANNOTATION OF THESIS

TRČKA, M. *Operation and Maintenance for Selected Type of Buses Analysis: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transport, 2010, 58 p. Thesis head: Famfulík, J.

Bachelor thesis considers operation and maintenance analysis of selected bus types. The rolling stock which is being resolved consists of 15 Karosa B 932 vehicles and Solaris Urbino 12 vehicles of the same number, all issued from Hranečník Dopravního podniku Ostrava Inc. premise. The thesis is introduced by characteristics of rolling stock's structure and age along with basic technical specifications of selected vehicle types. Statistical methods used for reliability parameters rating follow next. Achieved bus reliability parameters are calculated using these methods and operating empirical data, which are evaluated in terms of technology and economy in conclusion of the thesis.

**Keywords:** bus, dependability, maintenance costs.

# Obsah

Seznam použitých symbolů a značek .....	8
Úvod .....	9
1. Analýza struktury a stáří vozidlového parku .....	10
1.1 Struktura vozidlového parku .....	10
1.2 Stáří vozidlového parku .....	12
1.3 Základní technické údaje a charakteristiky zvolených typů vozidel .....	15
1.3.1 Karosa B 932 .....	15
1.3.2 Solaris Urbino 12 .....	16
2. Statistické metody hodnocení parametrů spolehlivosti .....	19
2.1 Základní pojmy spolehlivosti .....	19
2.1.1 Definovaný pojem .....	20
2.2 Náhodná veličina .....	20
2.2.1 Pravděpodobnost .....	21
2.2.2 Hustota pravděpodobnosti .....	21
2.2.3 Distribuční funkce .....	22
2.2.4 Bezporuchovost .....	22
2.2.5 Intenzita poruch .....	22
2.3 Použitá rozdělení náhodné veličiny .....	23
2.3.1 Poissonovo rozdělení .....	23
2.3.2 Exponenciální rozdělení .....	24
2.4 Součinitel pohotovosti .....	26
2.5 Korelace .....	26
3. Odhad dosažených parametrů spolehlivosti autobusů s využitím empirických dat .....	28
3.1 Popis a struktura empirických dat .....	28
3.2 Karosa B 932 .....	29
3.2.1 Porovnání poruch a kritických poruch .....	29
3.2.2 Srovnání vzájemného poměru poruch a kritických poruch .....	32
3.2.3 Součinitel pohotovosti .....	35
3.2.4 Srovnání provozu a údržby .....	36
3.3 Solaris Urbino 12 .....	38
3.3.1 Porovnání poruch a kritických poruch .....	38
3.3.2 Srovnání vzájemného poměru poruch a kritických poruch .....	40
3.3.3 Součinitel pohotovosti .....	43

3.3.4 Srovnání provozu a údržby.....	44
3.4 Náklady na údržbu .....	45
3.4.1 Náklady na údržbu vozidel Karosa B 932.....	46
3.4.2 Náklady na údržbu vozidel Solaris Urbino 12.....	47
3.4.3 Srovnání nákladů na údržbu .....	48
4. Technické a ekonomické hodnocení získaných spolehlivostních charakteristik .....	50
4.1 Hodnocení bezporuchovosti.....	50
4.2 Hodnocení pohotovosti .....	51
4.3 Hodnocení provozu a údržby .....	52
4.4 Hodnocení nákladů na údržbu .....	53
4.5 Závěr .....	54
5. Seznam použité literatury .....	55
6. Seznam obrázků .....	56
7. Seznam tabulek .....	58

## Seznam použitých symbolů a značek

$A$	Ustálený součinitel pohotovosti	[-]
$A(t)$	Součinitel pohotovosti	[-]
$f(t)$	Hustota pravděpodobnosti spojité náhodné veličiny	[-]
$F(t)$	Distribuční funkce náhodné veličiny	[-]
$p(x)$	Pravděpodobnostní funkce diskrétní náhodné veličiny	[-]
$r$	Korelační koeficient	[-]
$R(t)$	Bezporuchovost	[-]
$T_{so}$	Střední doba obnovy	[den]
$T_{sp}$	Střední doba bezporuchového provozu	[den]
$\lambda(t)$	Intenzita poruch	[1/den]
$\lambda_s(t)$	Střední intenzita poruch	[1/den]



# Úvod

Cílem této bakalářské práce je analýza provozu a údržby u vybraných typů autobusů. Řešená vozidla pocházejí z provozovny Hranečník Dopravního podniku Ostrava a.s. a jedná se o autobusy Karosa B 932 a Solaris Urbino 12, z nichž každý typ je zastoupen počtem patnácti vozidel. Získaná empirická data, pomocí kterých budou porovnávány dosažené parametry spolehlivosti, pocházejí ze systému řízení údržby Korund z let 2007 a 2008.

V úvodní části práce charakterizují strukturu a stáří celého vozidlového parku a dále zmiňují popis a základní technické údaje vybraných autobusů. Následující kapitola je věnovaná teoretické části, ve které uvádím základní pojmy spolehlivosti společně se statistickými metodami používanými v této práci. Následně jsem ze získaných provozních dat provedl výpočet dosažených parametrů spolehlivosti. Jedná se především o určení středních intenzit poruch jednotlivých vozidlových součástí a následné porovnání výskytu poruch a kritických poruch, provozu a údržby, dále pak výpočet součinitele pohotovosti a stanovení nákladů vynaložených na údržbu vybraných vozidel. Závěrem této práce uvádím celkové hodnocení porovnáváných autobusů z technického a ekonomického hlediska, tudíž se jedná o zhodnocení bezporuchovosti, pohotovosti, provozu a údržby a nákladů na údržbu.

# **1. Analýza struktury a stáří vozidlového parku**

V úvodní kapitole je zpracována struktura celého vozidlového parku společně s analýzou jeho stáří a následně jsou uvedeny základní technické parametry a charakteristiky zvolených typů autobusů.

## **1.1 Struktura vozidlového parku**

Dopravní podnik Ostrava a.s. zabezpečuje městskou hromadnou dopravu na území celého města a do některých přilehlých obcí. Jedním ze tří druhů poskytované dopravy je i autobusový provoz. Struktura vozidel se tak zákonitě odvíjí od typu poskytovaných služeb, tudíž převážnou část vozidlového parku tvoří autobusy městského provedení v třídvéřové verzi, které umožňují rychlejší nástup a výstup cestujících přepravovaných ve větších počtech na kratší vzdálenosti.

Základ provozovaných autobusů tvoří vozidla dvou výrobců, a to Karosa Vysoké Mýto (dnes Iveco Czech republic a.s.) a Solaris Bus & Coach S.A., jejichž výrobce sídlí v Polsku. Z konstrukčního hlediska jsou používána vozidla dvounápravová, třínápravová a kloubová. Na některých okrajových linkách s omezenou přepravní kapacitou cestujících jsou využívány minibusy Fiat - Mave CiBus a Mercedes Benz 412 D (popř. 411 CDI).

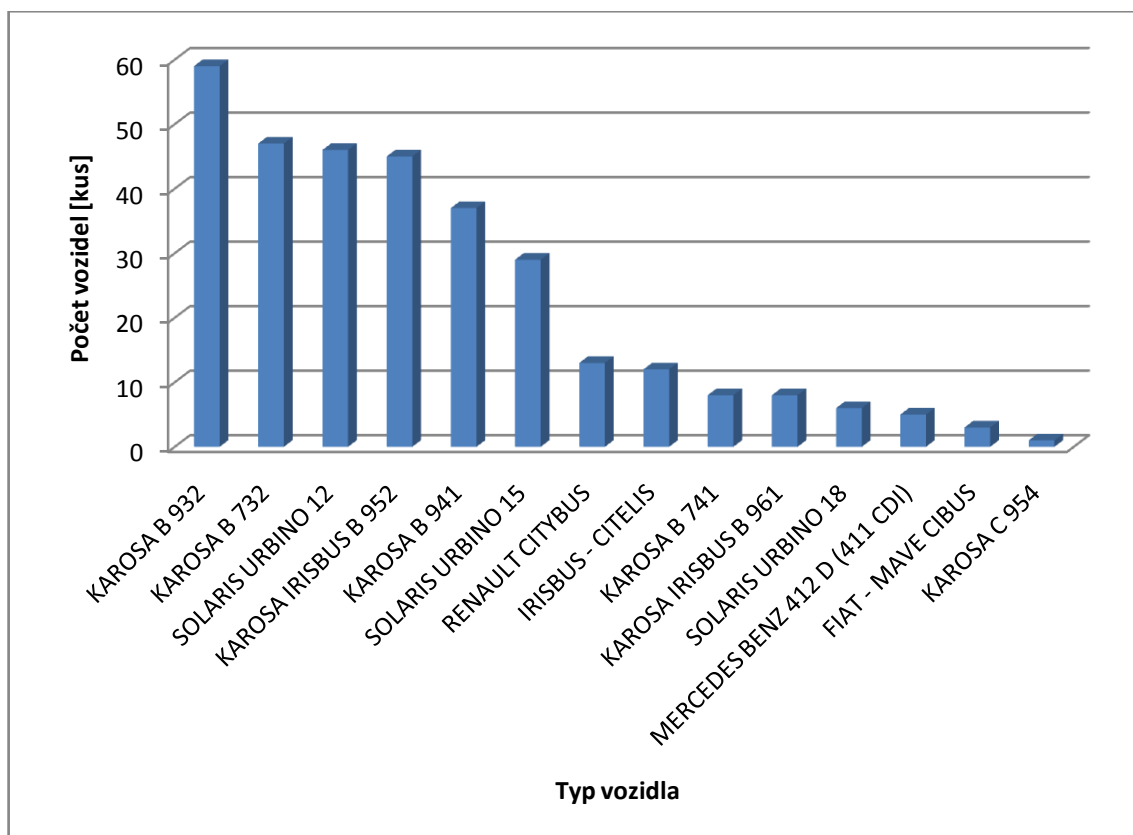
V současné době čítá vozidlový park celkem 319 autobusů následujících typů: čtyřicet sedm vozidel Karosa B 732, osm vozidel Karosa B 741, padesát devět vozidel Karosa B 932, třicet sedm vozidel Karosa B 941, čtyřicet pět vozidel Karosa Irisbus B 952, osm vozidel Karosa Irisbus B 961 a jedno vozidlo Karosa C 954 využívané zejména na lince Ostrava - letiště Mošnov a dále pro občasnou zájezdovou dopravu.

Dále je provozováno třináct vozidel Renault Citybus a dvanáct vozidel Irisbus - Citelis. Pro zabezpečení přepravy cestujících nízkopodlažními vozidly jsou používány autobusy Solaris Urbino, a to v počtech čtyřicet šest vozidel Solaris Urbino 12, dvacet devět vozidel Solaris Urbino 15 a šest vozidel Solaris Urbino 18. Minibusy jsou zastoupeny třemi vozidly Fiat – Mave CiBus a pěti vozidly Mercedes Benz 412 D (popř. 411 CDI).

Pro přehlednost jsou počty jednotlivých typů vozidel zaznamenány do tabulky 1.1 a znázorněny graficky (viz obrázek č. 1.1)[2].

**Tab. 1.1: Přehled vozidlového parku podle typu**

Typ vozidla	Počet vozidel
Karosa B 932	59
Karosa B 732	47
Solaris Urbino 12	46
Karosa Irisbus B 952	45
Karosa B 941	37
Solaris Urbino 15	29
Renault Citybus	13
Irisbus – Citelis	12
Karosa B 741	8
Karosa Irisbus B 961	8
Solaris Urbino 18	6
Mercedes Benz 412 D (411 CDI)	5
Fiat – Mave CiBus	3
Karosa C 954	1
<b>Celkem</b>	<b>319</b>



**Obr. č. 1.1: Přehled vozidlového parku podle typu**

## 1.2 Stáří vozidlového parku

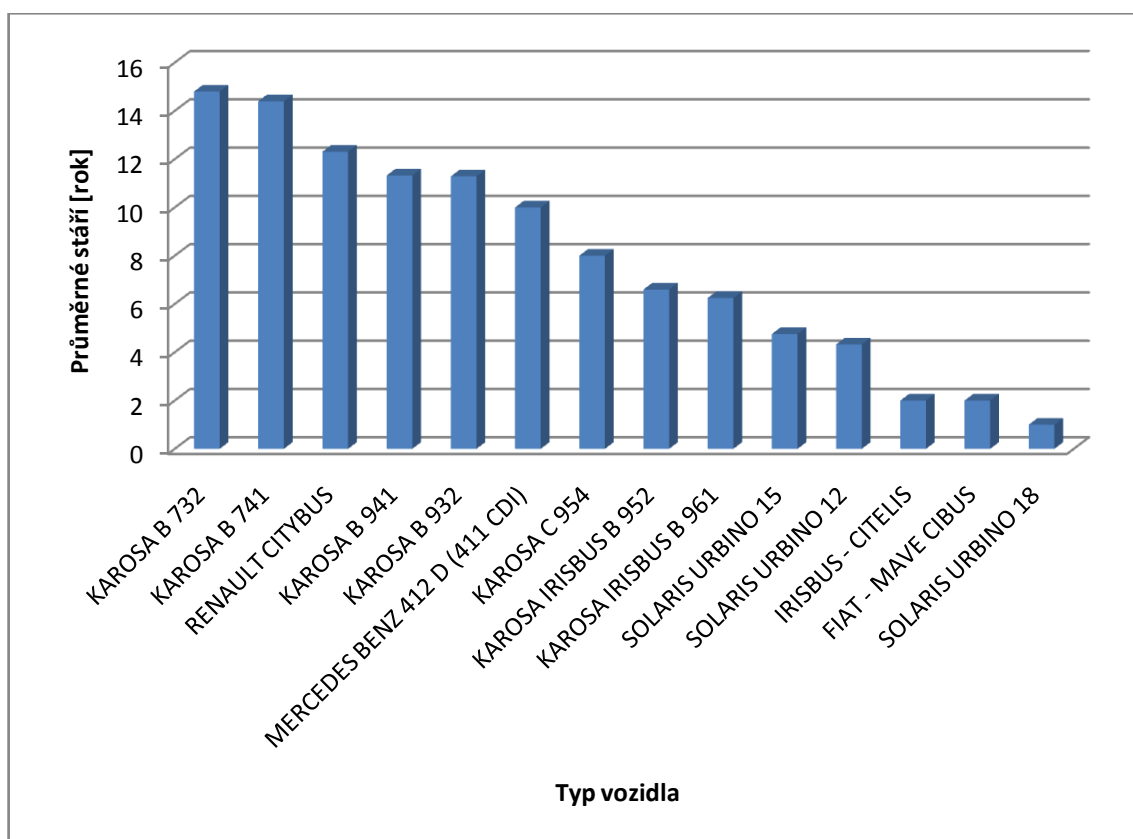
Důležitým faktorem pro spolehlivost při provozu dopravních prostředků je také stáří vozidlového parku, které je závislé na jeho postupné obměně. Aby byla tato obměna efektivní a zabezpečovala bezpečný a plynulý provoz, je nutno znát objektivní ekonomickou životnost jednotlivých typů provozovaných vozidel. Vlivem opotřebení a dalších faktorů, jako koroze a únavové jevy, intenzita poruch začne stoupat, vozidlo vykazuje častější vznik poruch a výrazně tak stoupají finanční náklady na jeho údržbu[3].

Průměrné stáří jednotlivých typů vozidel zařazených do vozidlového parku je uvedeno v tabulce 1.2 a grafické znázornění na obrázku č. 1.2[2].

**Tab. 1.2: Průměrné stáří jednotlivých typů vozidel**

<b>Typ vozidla</b>	<b>Průměrné stáří</b>
Karosa B 732	14,8
Karosa B 741	14,4
Renault Citybus	12,3
Karosa B 941	11,3
Karosa B 932	11,3
Mercedes Benz 412 D (411 CDI)	10
Karosa C 954	8
Karosa Irisbus B 952	6,6
Karosa Irisbus B 961	6,3
Solaris Urbino 15	4,8
Solaris Urbino 12	4,3
Irisbus - Citelis	2
Fiat – Mave CiBus	2
Solaris Urbino 18	1
<b>Celkem</b>	<b>8,9</b>

Jak vyplývá z výše uvedeného přehledu, průměrné stáří vozidlového parku je přibližně 8,9 let. Průměrné stáří porovnávaných vozidel je pro typ Karosa B 932 přibližně 11,3 roku a u typu Solaris Urbino 12 zhruba 4,3 roku, avšak pro tuto práci byly vybrány autobusy přibližně stejného stáří. Pro názornost je průměrné stáří uvedeno na obr. 1.2.

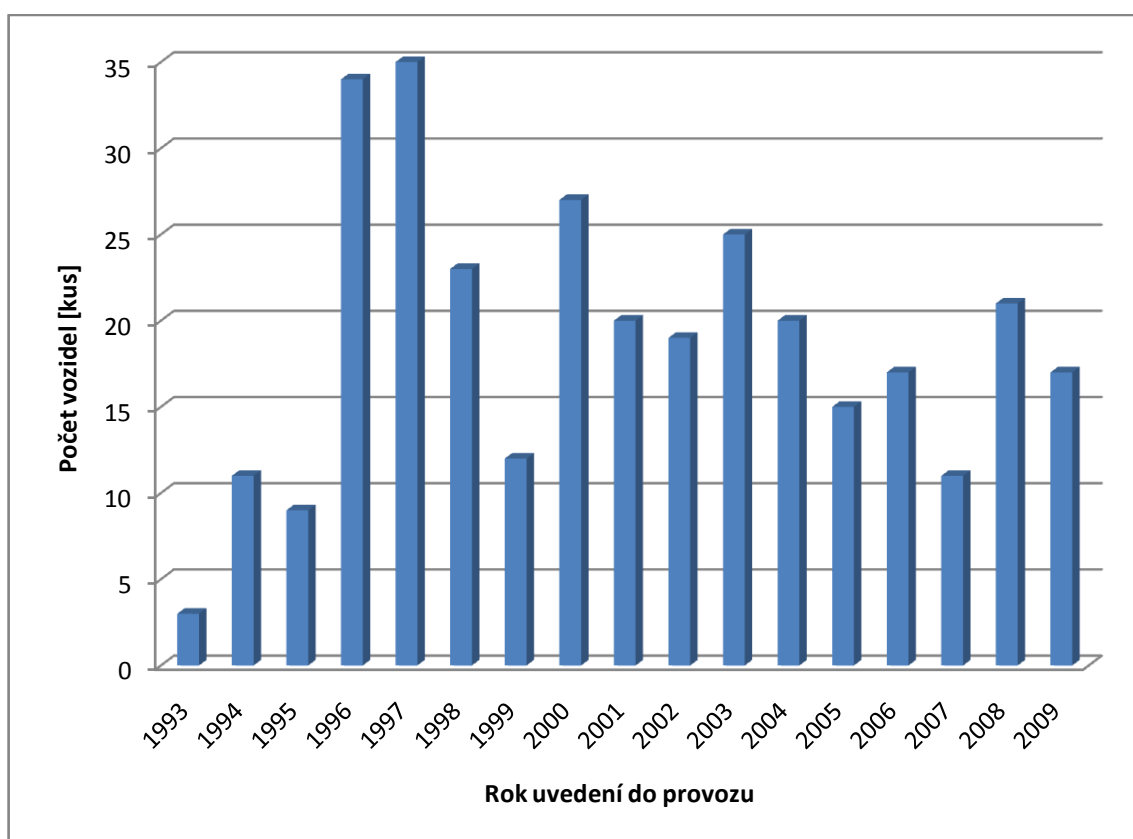


**Obr. č. 1.2: Průměrné stáří jednotlivých typů vozidel**

Z celkového počtu autobusů je více než jedna třetina starší deseti let a dvacet tři vozidel je starších patnácti let. Když vezmeme v úvahu náročnost přepravy v městském provozu, časté rozjezdy a brzdění, stav komunikací a také množství ujetých kilometrů, zdá se současný stav stáří poněkud přesahující ekonomickou životnost vozidel. Z následujícího přehledu stáří vozidlového parku (viz tabulka 1.3 a obrázek č. 1.3 [2]) také vyplývá, že období dožívání a likvidace vozidel se pohybuje mezi šestnácti až sedmnácti lety.

**Tab. 1.3: Počet vozidel podle roku uvedení do provozu**

Rok uvedení do provozu	Počet vozidel
1993	3
1994	11
1995	9
1996	34
1997	35
1998	23
1999	12
2000	27
2001	20
2002	19
2003	25
2004	20
2005	15
2006	17
2007	11
2008	21
2009	17



**Obr. č. 1.3: Počet vozidel podle roku uvedení do provozu**

### **1.3 Základní technické údaje a charakteristiky zvolených typů vozidel**

Pro analýzu provozu a údržby byla vybrána vozidla Karosa B 932 a Solaris Urbino 12 s ohledem na skutečnost, že jsou v současnosti zastoupeny největším počtem provozovaných vozidel a rovněž po konstrukční stránce jsou podobné (počet náprav, počet dveří, umístění motoru, rozměry karoserie, přepravní kapacita atd.).

#### **1.3.1 Karosa B 932**

Karosa B 932 je modelem městského autobusu vyráběný společností Karosa Vysoké Mýto v letech 1997 až 2002 jako nástupce vozidla Karosa B 732. V současnosti jde o nejpoužívanější typ autobusu v Dopravním podniku Ostrava a.s.

Jedná se o dvounápravový autobus s polosamonosnou karosérií panelové konstrukce a motorem umístěným za zadní nápravou. Jako pohonné jednotky jsou využívány motory LIAZ ML 636 o výkonu 175 kW nebo Renault MIHR 062045 o výkonu 152 až 188 kW. Dále je montována pětistupňová mechanická převodovka typu Praga 5P 115, díky níž mohou být tyto autobusy používány i na příměstských linkách.

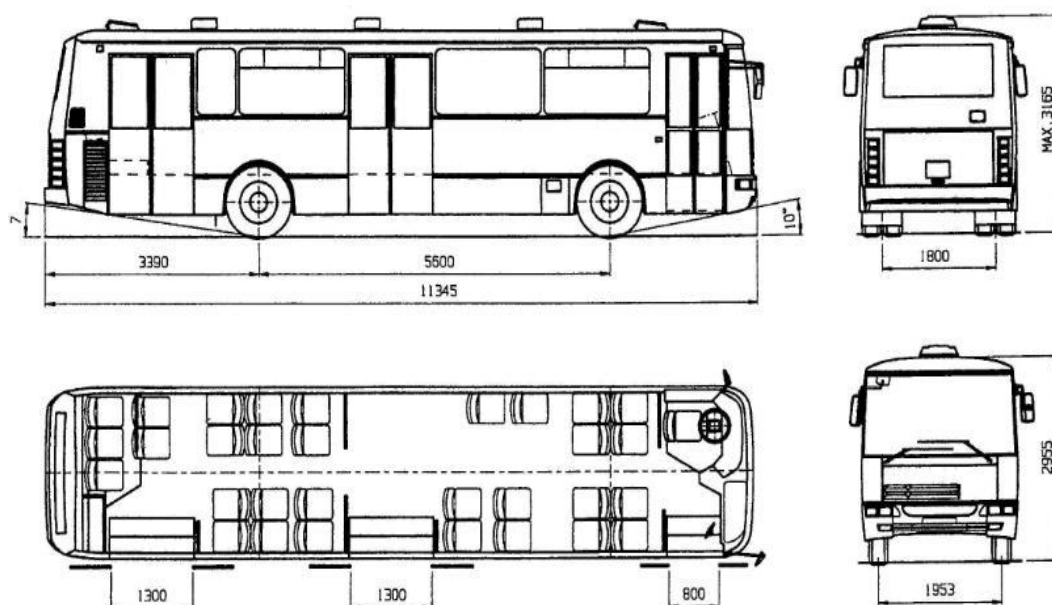
Zaoblené přední a zadní čelo je vytvořeno z kostry ze svařených profilů a sklolaminátového plechu. Sedačky v interiéru jsou čalouněny a potaženy látkou. Pro nástup a výstup cestujících jsou určeny troje dvoukřídlé výklopné dveře v pravém boku karoserie. V úrovni prostředních dveří se nachází prostor pro kočárek nebo invalidní vozík pro přepravu tělesně postižených osob. Kapacita vozidla činí 31 míst k sezení a 63 míst k stání.

Od roku 1999 byly tyto autobusy vyráběny v modifikaci B 932 E. Hlavní změny se týkaly použití systémů ABS a ASR, odlišné přední tuhé nápravy a snížení podlahy v přední části vozu o 100 milimetrů.

Základní technické parametry jsou uvedeny v tabulce 1.4 a rozměrový náčrtek je vyobrazen na obrázku č. 1.4[5].

**Tab. 1.4: Základní technické parametry vozidel Karosa B 932**

Délka	11 345 mm
Šířka	2 500 mm
Výška	3 165 mm
Celková hmotnost	17 000 kg
Pohotovostní hmotnost	10 250 kg
Užitečný náklad	6 750 kg
Obsaditelnost (sedící/stojící)	31 + 1 / 63
Motor (výkon)	LIAZ ML 636 (175 kW)
	Renault MIHR 062045 (152 - 188 kW)
Převodovka	Praga 5P 115
Počet převodových stupňů	5+1
Spotřeba	19 l/100 km při 60 km/h
Maximální rychlost	86,7 km/hod

**Obr. č. 1.4: Rozměrový náčrtek vozidla Karosa B 932**

### 1.3.2 Solaris Urbino 12

Solaris Urbino 12 je model polského nízkopodlažního autobusu, který je od roku 1999 vyráběn společností Solaris Bus & Coach. V Ostravě jsou tato vozidla používána až od roku 2001.

Jedná se o dvounápravový, dvanáctimetrový autobus s motorem umístěným za zadní nápravou. Standardní používanou pohonnou jednotkou je čtyřdobý vznětový agregát typu DAF PR183 o výkonu 188 kW. Na přání zákazníka pak mohou být namontovány motory



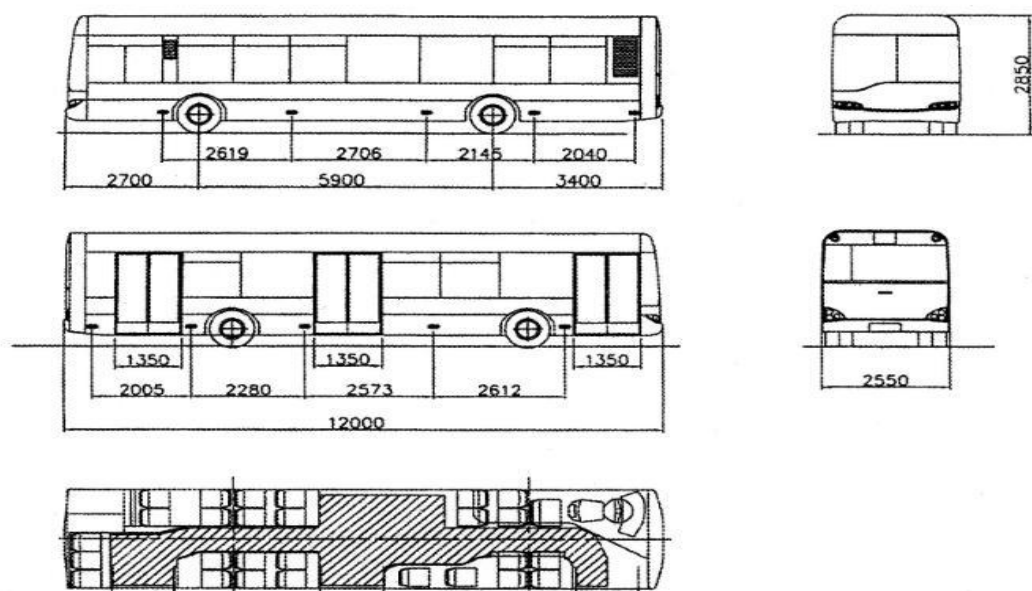
s vyšším výkonem, popřípadě motory značky Cummins. Používaná automatická převodovka je čtyřstupňová typu ZF 6 HP Ecomat 4.

Skelet autobusů tvoří samonosná svařovaná konstrukce, vyrobená z nerezové oceli. Její hmotnost se pohybuje mezi 10 500 až 10 800 kilogramy, v závislosti na vybavení. Dále jsou použity velkoprostorové profily, které zvyšují tuhost a odolnost na vibrace skeletu. Bočnice vozidla jsou provedeny z nerezového plechu a spodní části z hliníku. Vnitřní prostor je bezbariérový, vybaven optimálním vzduchotechnickým zařízením zajišťujícím dostatečnou cirkulaci vzduchu pro cestující a je uplatněn systém osvětlení, který optimalizuje úroveň osvětlení uvnitř vozidla. Kapacita vozidla činí 34 míst k sezení a 65 ke stání. Vozidla jsou navíc vybavena mechanicky nebo hydraulicky vysouvanou plošinou, která umožňuje snadný vjezd invalidních vozíků.

Pohodlný nástup a výstup přepravovaných osob rovněž umožňuje automatická úprava vzduchového pérování, která při zastavení a následném otevření dveří sníží výšku vozidla na vstupní straně. Dále je možno zvýšit výšku až o 60 milimetrů nebo ji snížit až o 70 milimetrů. Technické údaje vozidla jsou zmíněny v tabulce 1.5 a příslušný rozměrový náčrtek je uveden na obrázku č. 1.5[4][8].

**Tab. 1.5: Základní technické parametry vozidel Solaris Urbino 12**

Délka	12 000 mm
Šířka	2 550 mm
Výška	2 850 mm
Celková hmotnost	18 000 kg
Pohotovostní hmotnost	10 800 kg
Užitečný náklad	7 200 kg
Obsaditelnost (sedící/stojící)	34 + 1 / 65
Motor (výkon)	DAF PR183 (188 kW)
	DAF PR228 (231 kW)
	DAF PR265 (266 kW)
	Cummins ISB6.7E5 250B (180,5 kW)
	Cummins ISB6.7E5 285B (209 kW)
	Cummins ISB6.7EV 250B (180,5 kW)
	Cummins ISB6.7EV 285B (209 kW)
Převodovka	ZF 6 HP Ecomat 4
Spotřeba	výrobce neuváděna
Maximální rychlost	80 km/h



Obr. č. 1.5: Rozměrový náčrtek vozidla Solaris Urbino 12

## 2. Statistické metody hodnocení parametrů spolehlivosti

### 2.1 Základní pojmy spolehlivosti

Spolehlivost je dle normy ISO 9000:2000 definována jako souhrnný termín, používaný pro popis pohotovosti a činitelů, které ji ovlivňují.

- **bezporuchovost** je schopnost objektu plnit nepřetržitě požadované funkce po stanovenou dobu a za stanovených podmínek,
- **udržovatelnost** je schopnost objektu v daných podmínkách používání setrvat ve stavu nebo se vrátit do stavu, v němž může plnit požadovanou funkci tehdy, jestliže se údržba provádí v daných podmínkách a používají se stanovené postupy i prostředky,
- **zajištěnost údržby** je schopnost organizace poskytující údržbářské služby zajišťovat podle požadavků v daných podmínkách prostředky potřebné pro údržbu v souladu s koncepcí údržby[3].

Spolehlivost je rovněž chápána jako komplexní vlastnost objektu, proto lze jednotlivé její vlastnosti rozšířit o další definice:

- **bezpečnost** je vlastnost objektu neohrožovat lidské zdraví nebo životní prostředí při plnění předepsané funkce,
- **životnost** je schopnost objektu plnit požadované funkce do okamžiku dosažení mezního stavu při stanoveném systému údržby a oprav,
- **pohotovost** je schopnost objektu být ve stavu schopném plnit požadované funkce v daném časovém okamžiku a v daných podmínkách,
- **filozofie údržby** je systém principů pro organizaci a provádění údržby[3].

Spolehlivost dle normy ČSN IEC 50(191) je vyjádřena jako pravděpodobnost bezporuchového provozu, to je pravděpodobnost, že objekt může plnit požadovanou funkci v daných podmínkách a v daném časovém intervalu.

V této normě jsou definovány další pojmy vztahující se k bezporuchovosti a údržbě:

- **porucha** znamená částečnou nebo úplnou ztrátu schopnosti provozu soustavy nebo prvku. Pokud dojde ke změně schopnosti provozu, rozhoduje se, zda jde o poruchu nebo ne, podle stanovených podmínek provozu,

- **doba do první poruchy** je celková doba provozu objektu od okamžiku prvního uvedení do použitelného stavu až do poruchy,
- **doba mezi poruchami** je doba trvání mezi dvěma po sobě následujícími poruchami opravovaného objektu,
- **doba údržby** je časový interval, během něhož se na objektu provádí údržbářský zásah buď ručně, nebo automaticky, včetně technických a logistických zpoždění,
- **údržba** je souhrn konkrétních technologických činností a postupů, jejich uplatňováním za určených podmínek se provádí obnova požadovaného technického stavu objektu,
- **preventivní údržba** je údržba prováděná v předem určených intervalech nebo podle předepsaných kritérií a je zaměřená na snížení pravděpodobnosti poruchy nebo degradace fungování objektu,
- **údržba po poruše** je údržba prováděná po zjištění poruchového stavu a je zaměřená na uvedení objektu do stavu, v němž může plnit požadovanou funkci,
- **oprava** je část údržby po poruše, při níž se na objektu provádějí ruční operace[3].

### 2.1.1 Definovaný pojem

Z důvodu potřeby vysvětlení pojmu, který je dále použit v této práci, je dále definována:

- **kritická porucha** je porucha, při které dojde k okamžitému ukončení provozuschopnosti vozidla, které musí být následně dopraveno do depa k opravě a je nahrazeno jiným.

## 2.2 Náhodná veličina

Náhodnou veličinou nazýváme veličinu, která s určitými pravděpodobnostmi nabývá reálných hodnot jednoznačně přiřazených výsledkům příslušných náhodných pokusů.

Spolehlivost neopravovaných výrobků a soustav se měří pravděpodobností bezporuchového provozu a odvozenými veličinami, jako je hustota poruch, intenzita poruch nebo střední doba bezporuchového provozu. Chování výrobku se zpravidla sleduje v čase, popřípadě na jiném výkonovém parametru. U většiny výrobků může porucha nastat při libovolné hodnotě nezávislé proměnné, z čehož vyplývá, že náhodná veličina je spojitá.

U výrobků s nespojitou činností může porucha nastat pouze v okamžicích, kdy je výrobek v provozu, tudíž náhodná proměnná je diskrétní[3].

### 2.2.1 Pravděpodobnost

Při opakované realizaci pokusu se stejný jev za nezměněných podmínek vyskytuje s různou četností, tj. s různou pravděpodobností[3].

Pravděpodobnost nastoupení jevu  $P(A)$  je tedy definována jako:

$$P(A) = \frac{n}{m} \quad (2.1)$$

**Kde:**

**n** – počet pokusů, kdy jev nastal

**m** – celkový počet provedených pokusů

### 2.2.2 Hustota pravděpodobnosti

Hustota pravděpodobnosti je funkce vyjadřující že náhodná veličina  $T$  nabude hodnoty z nekonečně malého intervalu  $dt$ . Definujeme ji vztahem:

$$f(t)dt = P(t \leq T \leq t + dt) \quad (2.2)$$

Základní vlastnosti hustoty pravděpodobnosti:

- je nezáporná,  $f(t) \geq 0$ ,
- velikost plochy pod křivkou je rovna jedné,  $\int_{-\infty}^{\infty} f(t)dt = 1$ .

Pravděpodobnost, že náhodná veličina  $T$  nabude hodnoty z intervalu  $\langle t_1; t_2 \rangle$  je dána:

$$P(t_1 \leq T \leq t_2) = \int_{t_1}^{t_2} f(t)dt \quad (2.4)$$

Pro spojitě náhodné veličiny je hustota pravděpodobnosti označována  $f(t)$ , pro diskrétní je označována jako pravděpodobnostní funkce  $p(x)$ [3].

### 2.2.3 Distribuční funkce

Distribuční funkce je pravděpodobnost, že náhodná veličina  $T$  nabude hodnoty menší nebo rovné, než je zadaná hodnota  $t$  [3]. A dále je jedním z prostředků popisu zákona rozdělení a je definována:

$$F(t) = P(T \leq t) = \int_{-\infty}^t f(t) dt \quad (2.5)$$

Distribuční funkce má tyto vlastnosti:

- je nezáporná a nabývá hodnoty z intervalu  $\langle 0; 1 \rangle$ ,
- je neklesající, tudíž  $F(t_2) \geq F(t_1)$  pro všechna  $t_2 \geq t_1$ ,
- mezi hustotou pravděpodobnosti a distribuční funkcí platí následující vztah:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad (2.6)$$

Pro diskrétní náhodnou veličinu je distribuční funkce daná vztahem:

$$F(X \leq a) = p(x_1) + p(x_2) + \dots + p(a) = \sum_{i=1}^{i=a} p(x_i) \quad (2.7)$$

### 2.2.4 Bezporuchovost

Bezporuchovost je nazývána jako doplňková funkce, neboli doplněk distribuční funkce  $F(t)$  do jedné [3]. Tudíž je definována vztahem:

$$R(t) = P(T \geq t) = 1 - F(t) \quad (2.8)$$

### 2.2.5 Intenzita poruch

Intenzita poruch je definována jako podmíněná pravděpodobnost, že porucha nastane za nekonečně malý okamžik  $dt$  za podmínky, že do okamžiku  $t$  jev nenastal. Obecně je definována vztahem (2.9):

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.9)$$

Intenzita poruch má nejčastěji rozměr 1/čas, obvykle je udávána v jednotkách 1/hod. Pokud je však výkonovým parametrem kilometrický proběh vozidla, má intenzita poruch rozměr 1/km a udává se v jednotkách 1/1000 km[3].

Střední intenzitu poruch je také možno vyjádřit jako počet poruch za jednotku času, tudíž:

$$\lambda_s(t) = \frac{N_p}{t} \quad (2.10)$$

**Kde:**

$N_p$  – počet poruch

$t$  – délka časového intervalu [den]

## 2.3 Použitá rozdělení náhodné veličiny

### 2.3.1 Poissonovo rozdělení

Poissonovo rozdělení popisuje pravděpodobnost výskytu izolovaných dějů v čase, prostoru, množství a označuje se  $Po(\lambda)$ . Toto rozdělení diskrétní náhodné veličiny vykazuje následující vlastnosti:

- pravděpodobnost výskytu jedné události v daném intervalu (času, prostoru) je úměrná délce tohoto intervalu,
- události se vyskytují nezávisle na sobě,
- pravděpodobnost současného výskytu dvou událostí v jednom intervalu je nulová[3].

Je sledován počet výskytu jevů na jednotku míry, například počet poruch na jednotku času. Poissonovo rozdělení je dáno následujícím vztahem:

$$p(k) = \frac{(\lambda \cdot t)^k}{k!} \cdot e^{(-\lambda \cdot t)} \quad k = 0, 1, 2, \dots, n \quad (2.11)$$

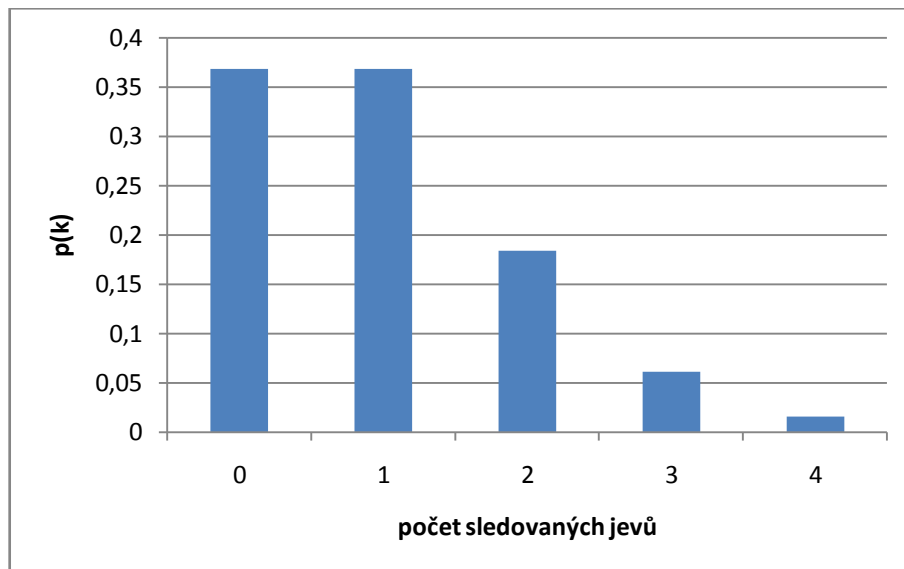
**Kde:**

$k$  – počet sledovaných jevů

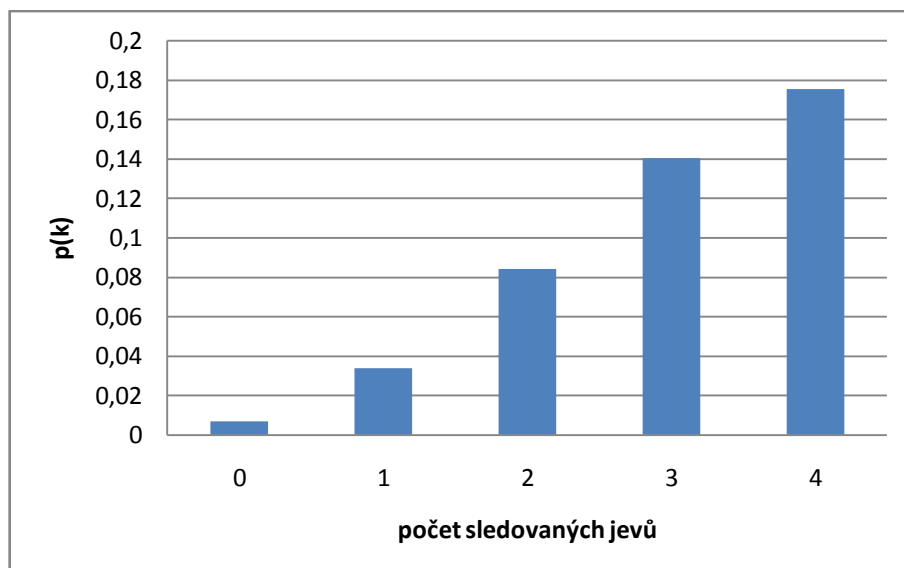
$\lambda$  – střední intenzita poruch [1/den]

$t$  – délka intervalu [den]

Na obrázcích č. 2.1 a 2.2 jsou vyobrazeny grafické průběhy pravděpodobnostní funkce s dvěma různými parametry  $\lambda$ .



**Obr. č. 2.1: Pravděpodobnostní funkce Poissonova rozdělení s parametrem  $\lambda=1$**



**Obr. č. 2.2: Pravděpodobnostní funkce Poissonova rozdělení s parametrem  $\lambda=5$**

### 2.3.2 Exponenciální rozdělení

Toto rozdělení má spojitá náhodná veličina, která představuje dobu čekání do nastoupení náhodného jevu nebo délku intervalu mezi takovými dvěma jevy (např. doba čekání na obsluhu). Označuje se  $Ex(\lambda)$  a je určeno jedním parametrem  $\lambda$  [7].

Jelikož je průběh intenzity poruch exponenciálního rozdělení konstantní, velmi často se využívá k vyjádření „normálního“ života výrobku (období ustálení intenzity poruch na přibližně konstantní hodnotě) [3]. Hustota pravděpodobnosti je dána vztahem (2.12):

$$f(t) = \lambda \cdot e^{(-\lambda \cdot t)} \quad \lambda > 0, t \geq 0 \quad (2.12)$$

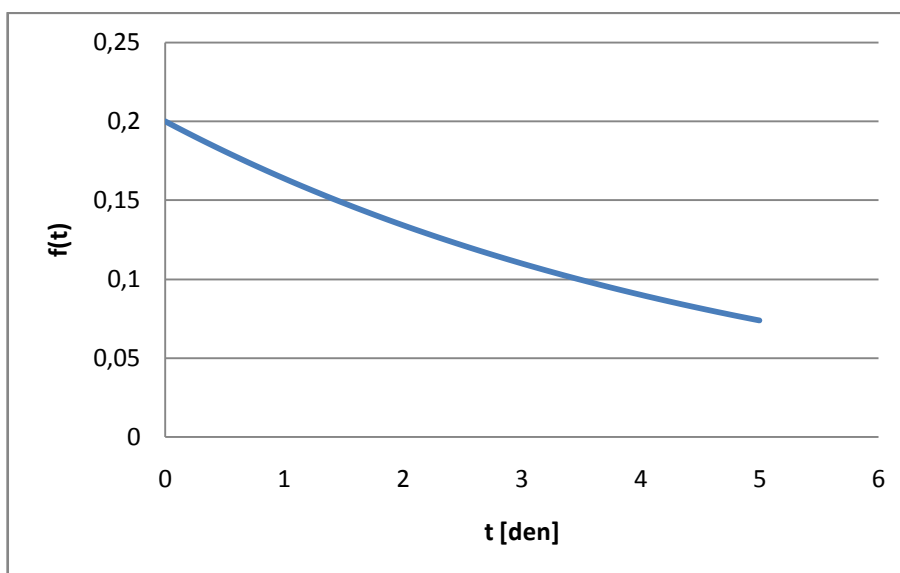


**Kde:**

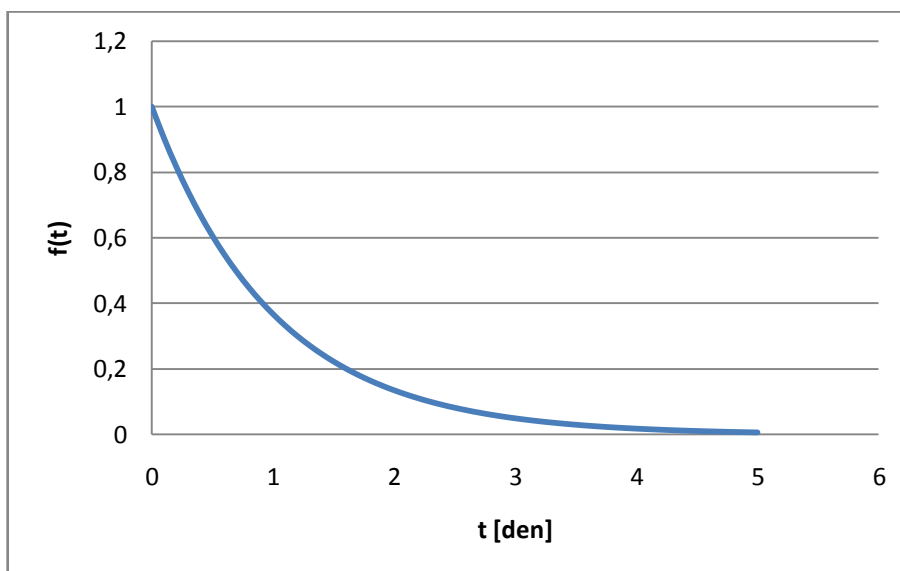
$\lambda$  – střední intenzita poruch [1/den]

$t$  – délka intervalu [den]

Na následujících obrázcích č. 2.3 a 2.4 jsou graficky znázorněny průběhy hustoty pravděpodobnosti s dvěma odlišnými parametry  $\lambda$ .



**Obr. č. 2.3: Graf průběhu hustoty pravděpodobnosti pro  $\lambda=0,2$**



**Obr. č. 2.4: Graf průběhu hustoty pravděpodobnosti pro  $\lambda=1$**

Distribuční funkce je poté vyjádřena pomocí vztahu (2.13):

$$F(t) = 1 - e^{(-\lambda \cdot t)} \quad (2.13)$$

## 2.4 Součinitel pohotovosti

Provoz sledované soustavy či objektu je charakterizován součinitelem pohotovosti  $A(t)$ , který je roven pravděpodobnosti, že v čase  $t$  je soustava nebo objekt v bezporuchovém stavu. Tento součinitel bývá také vyjádřen jako poměr celkové doby bezporuchového provozu do času  $t$  k celkové době provozu do času  $t$  [3].

$$A(t) = \frac{T_p(t)}{T_p(t) + T_o(t)} \quad (2.14)$$

S rostoucím časem však  $A(t)$  konverguje k limitní hodnotě, pro kterou platí:

$$A = \frac{T_{sp}}{T_{sp} + T_{so}} \quad (2.15)$$

**Kde:**

$T_{sp}$  – střední doba bezporuchového provozu [den]

$T_{so}$  – střední doba obnovy [den]

$A$  – ustálený součinitel pohotovosti [-]

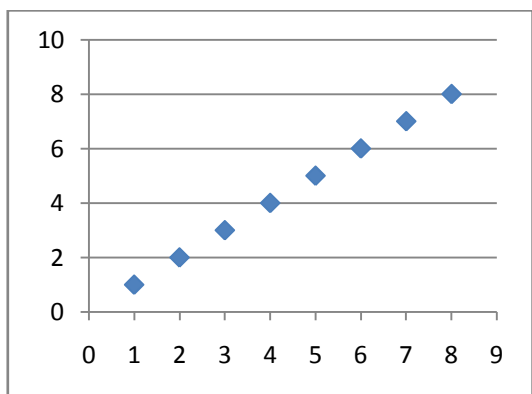
## 2.5 Korelace

Korelace vyjadřuje vzájemný vztah mezi dvěma procesy nebo veličinami. Pokud se jedna z nich mění, mění se korelativně i druhá a naopak.

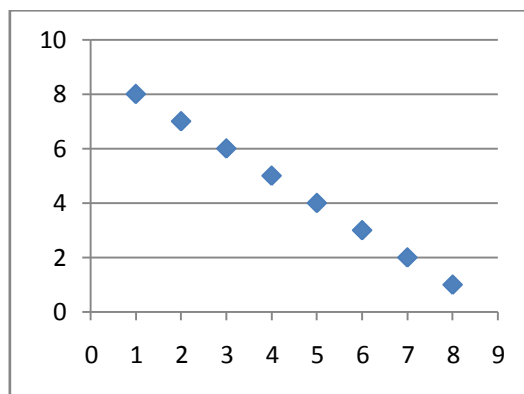
Ve statistice tento pojem vyjadřuje lineární vztah mezi veličinami  $x$  a  $y$ . Míra korelace je poté určena korelačním koeficientem, který může nabývat hodnot z intervalu  $<-1;1>$ . Je-li tento koeficient kladný, hodnoty obou proměnných zároveň stoupají. Pokud je však záporný, hodnota jedné proměnné stoupá a druhé klesá. V případě, kdy korelační koeficient je roven nule, lze prohlásit neexistenci lineárního vztahu.

Korelační koeficient je nezávislý na jednotkách původních proměnných, tudíž je bezrozměrný, a při změně pořadí proměnných se jeho výše nemění [6].

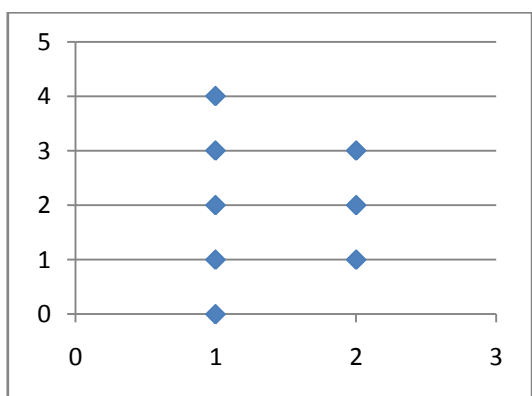
Pro názornost jsou na obrázcích č. 2.5, 2.6 a 2.7 vyobrazeny grafické závislosti dvou na sobě závislých veličin a je určen jejich korelační koeficient. V prvním případě je hodnota koeficientu rovna jedné, v případě druhém mínus jedné a na obrázku č. 2.7 je nulový.



Obr. č. 2.5: Korelační koeficient  $r=1$



Obr. č. 2.6: Korelační koeficient  $r=-1$



Obr. č. 2.7: Korelační koeficient  $r=0$

Korelační koeficient je určen pomocí vztahu (2.16):

$$r = \frac{\text{cov } xy}{s_x \cdot s_y} \quad (2.16)$$

**Kde:**

**cov xy**...kovariance veličin  $x$  a  $y$

**$s_x$** ...směrodatná odchylka veličiny  $x$

**$s_y$** ...směrodatná odchylka veličiny  $y$

Výpočet korelačního koeficientu je v této práci prováděn pomocí zabudované funkce Correl programu Microsoft Excel.

### 3. Odhad dosažených parametrů spolehlivosti autobusů s využitím empirických dat

Odhad dosažených spolehlivostních parametrů autobusů je prováděn ze získaných empirických dat z provozu u vybraných patnácti vozidel každého z výše zmíněných typů za období roku 2007 a 2008.

#### 3.1 Popis a struktura empirických dat

Získaná empirická data pocházejí z počítačového systému Korund, který je používán Dopravním podnikem Ostrava a.s. jako systém řízení údržby. Ke každému z vozidel byla získána data ve formě tabulek, kde byly uvedeny všechny údržbové zásahy, které byly na daném vozidle prováděny, a všechny poruchy, které se za danou dobu na vozidle vyskytly. Tyto údaje byly dále ještě doplněny o datum opravy či poruchy, použité náhradní díly (včetně jejich evidenčního čísla) společně s jejich celkovou cenou a dobou, která byla strávena při daném údržbovém zásahu. Na tabulce 3.1 lze vidět ukázkou takto získaných empirických dat.

**Tab. 3.1: Vstupní data systému Korund – náhodný výběr**

Typ PP	Datum	Díl	Název	Množ	Hod	Částka
16	8. 1. 2007	1111210192	OLEJ MOTOROVY TRYSK TOP TIR	1,58	0,2	90,29
16	8. 1. 2007	5910237501	ZAROVKA H4 24V 75/70W P43t	1	0,5	148,79
16	10. 1. 2007	1354321131	OKO KABELOVE RF-M4 0,5-1,5	5	1	185,85
16	10. 1. 2007	1354321348	OKO KABELOVE 650/10 (GF-M10) 4	5	1	216,40
16	10. 1. 2007	8952002478	RELE RYCHLOSTNI RBD-252-24	1	2	865,36
16	11. 1. 2007	5316592011	VALEC HLAVNI PR, 22	1	2	600,56
16	11. 1. 2007	5935040050	KAPALINA BRZDOVA SYNTOL	2	0,2	123,12
16	13. 1. 2007	1111310203	MAZIVO CHASSIS GREASE LBZ (TCL	0,01	0,1	33,82
16	18. 1. 2007	7442220821	POSILOVAC SPOJKY VG3276 KAROSA	1	3	2508,93

Typ PP vyskytující se v tabulce 3.1 označuje typ prohlídky, například zda šlo o pravidelnou prohlídku dle kilometrického proběhu, údržbu po poruše, opravu po havárii

atd. Ze všech získaných empirických dat pak byla prostřednictvím kontingenčních tabulek a filtrů programu Microsoft Excel vybrána pouze data potřebná pro vypracování této práce. Při filtrování podle položky typ PP byly vybrány údržbové činnosti uvedené v tabulce 3.2[2].

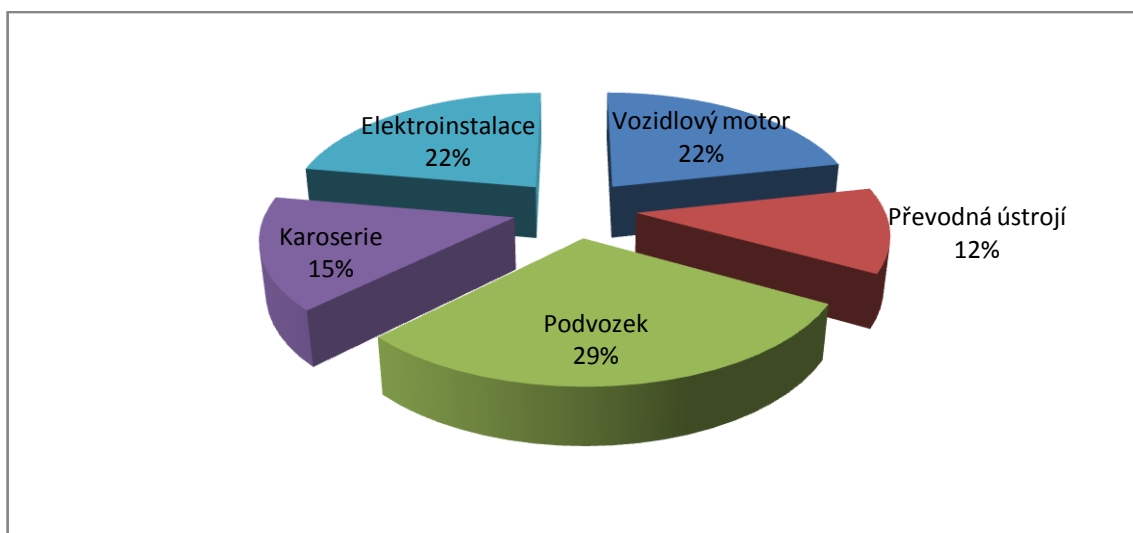
**Tab. 3.2: Seznam vybraných údržbových zásahů**

Typ PP	Název činnosti
01 - 12	Pravidelná prohlídka
13 - 14	Sezónní provoz (letní, zimní)
16	Údržba po poruše
42	Výměna oleje
65	Diagnostika
69	Diagnostika - emise
E2	Technická prohlídka (STK)

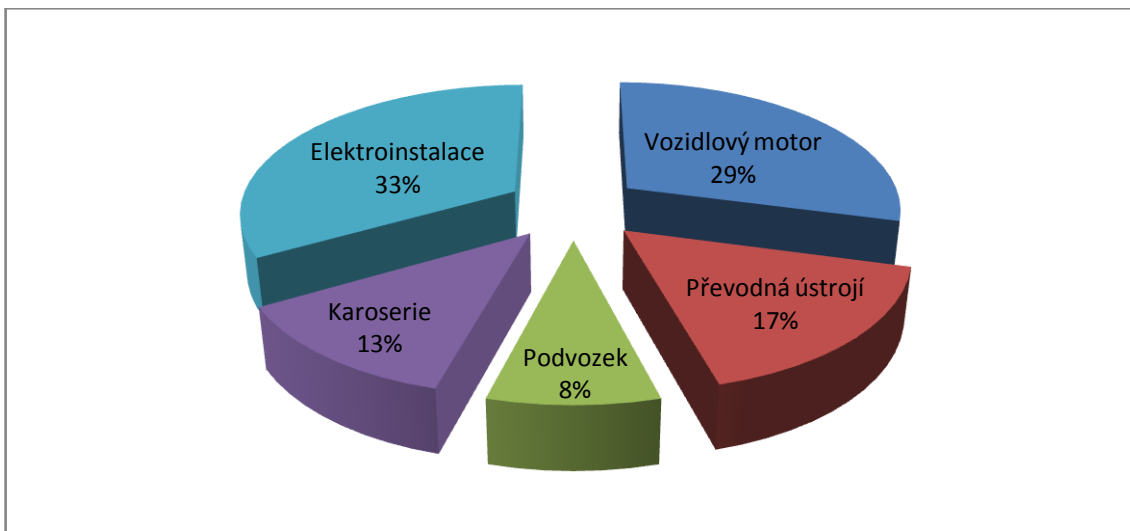
## 3.2 Karosa B 932

### 3.2.1 Porovnání poruch a kritických poruch

Srovnání poruch a kritických poruch je prováděno na základních vozidlových částech a ústrojích dle ČSN 30 0025. Pro každou vozidlovou část byl sledován její celkový počet poruch či kritických poruch a jejich vzájemné srovnání podle procentuelního výskytu je uvedeno na obrázcích č. 3.1 a 3.2.



**Obr. č. 3.1: Procentuelní zastoupení poruch vozidel Karosa B 932**



**Obr. č. 3.2: Procentuelní zastoupení kritických poruch vozidel Karosa B 932**

Z těchto grafů vyplývá, že k nejvýraznějšímu procentuálnímu rozdílu dochází mezi poruchami a kritickými poruchami u podvozku. Tato skutečnost je dána faktem, že s většinou poruch vyskytujících se na podvozku může vozidlo dále pokračovat v přepravním výkonu a daná porucha je odstraněna až po návratu do depa. Dojde-li však ke kritické poruše na podvozku, jedná se především o poruchu vzduchové soustavy vozidla, nejčastěji o prasklou vzduchovou hadici.

Naopak dochází k procentuálnímu navýšení kritických poruch na vozidlovém motoru, převodných ústrojích a elektroinstalaci v porovnání s poruchami. Pouze procentuální zastoupení poruch karoserie zůstává přibližně stejné.

Střední intenzita poruch jednotlivé vozidlové součásti je vždy určena podílem celkového počtu poruch hodnocené vozidlové součásti a počtem dní, po které byla tato součást u daného typu autobusu sledována. Pomocí vztahu (2.10) je znázorněn výpočet střední intenzity poruch vozidlového motoru:

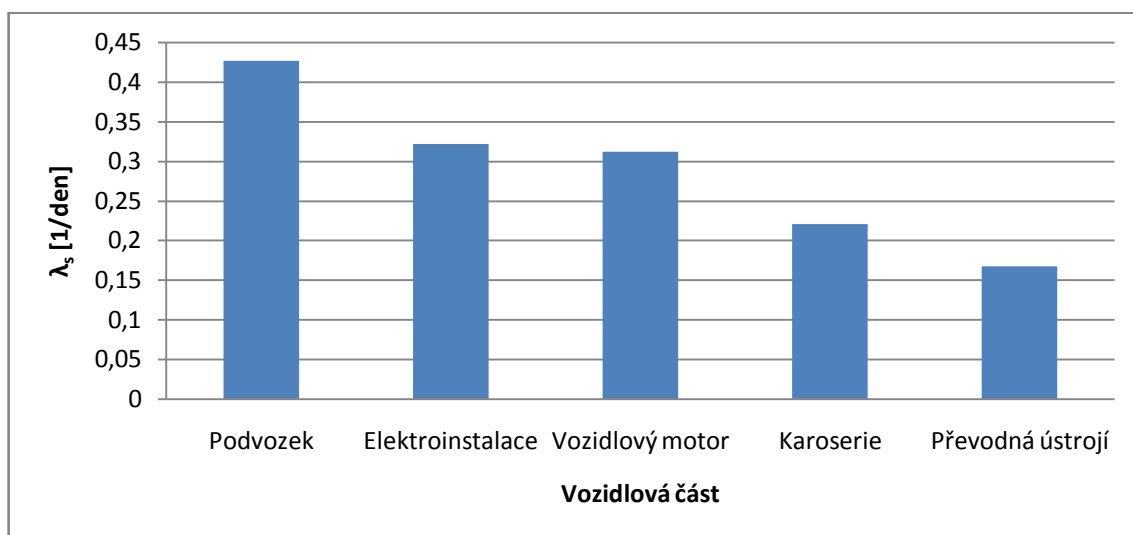
$$\lambda_{s_{VM}} = \frac{228}{731}$$

$$\underline{\underline{\lambda_{s_{VM}} = 0,311902 \text{ den}^{-1}}}$$

Pomocí výše uvedeného způsobu jsou spočteny jednotlivé střední intenzity poruch a kritických poruch všech vozidlových součástí a jsou uvedeny v tabulkách 3.3 a 3.4. Pro vyšší přehlednost jsou také vyobrazeny v grafické podobě, viz obrázky č. 3.3 a 3.4.

**Tab. 3.3: Počet a střední intenzity poruch vozidel Karosa B 932 za dobu 2 let**

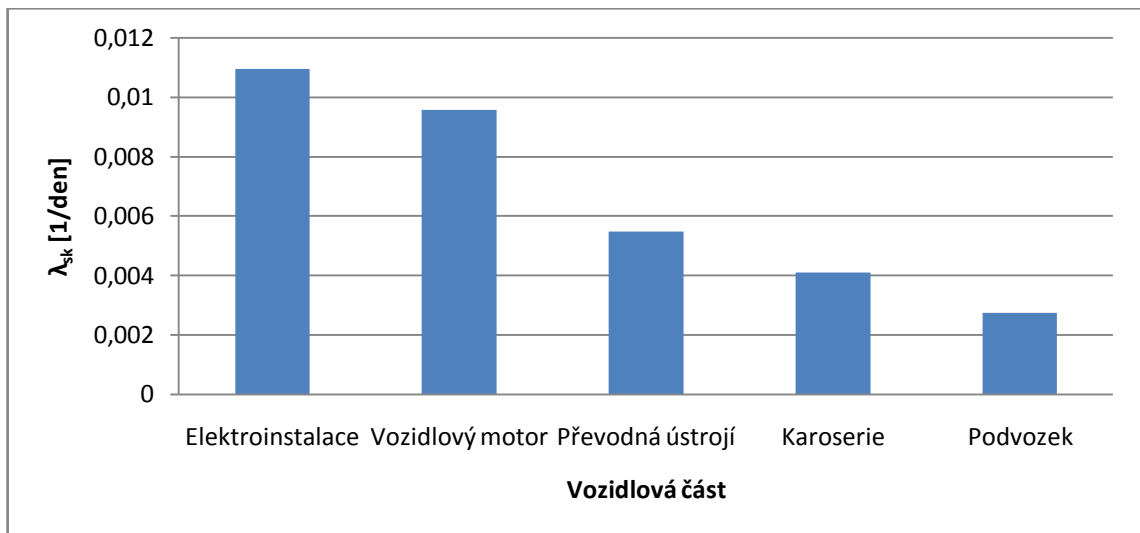
	Počet poruch	Počet poruch na 1 vozidlo	$\lambda_s$ [1/den]
<b>Vozidlový motor</b>	228	15,2	0,311902
<b>Převodná ústrojí</b>	122	8,13	0,166895
<b>Podvozek</b>	312	20,8	0,426813
<b>Karoserie</b>	161	10,73	0,220246
<b>Elektroinstalace</b>	235	15,67	0,321477



**Obr. č. 3.3: Střední intenzity poruch vozidel Karosa B 932**

**Tab. 3.4: Počet a střední intenzity kritických poruch vozidel Karosa B 932 za dobu 2 let**

	Počet krit. poruch	Počet krit. poruch na 1 vozidlo	$\lambda_{sk}$ [1/den]
<b>Vozidlový motor</b>	7	0,47	0,009576
<b>Převodná ústrojí</b>	4	0,27	0,005472
<b>Podvozek</b>	2	0,13	0,002736
<b>Karoserie</b>	3	0,2	0,004104
<b>Elektroinstalace</b>	8	0,53	0,010944



**Obr. č. 3.4: Střední intenzity kritických poruch vozidel Karosa B 932**

### 3.2.2 Srovnání vzájemného poměru poruch a kritických poruch

Ukázkový výpočet vzájemného poměru poruch a kritických poruch je proveden na vozidlovém motoru. Pomocí Poissonova rozdělení (2.11) je spočtena pravděpodobnost vzniku jedné poruchy vozidlového motoru na jedno vozidlo za dobu jednoho dne.

$$p(k=1) = \frac{(0,020793 \cdot 1)^1}{1!} \cdot e^{(-0,020793)}$$

$$\underline{\underline{p(k=1) = 0,020366}}$$

Vydeme-li ze základní definice pravděpodobnosti (2.1), můžeme následně vypočít, ke kolika poruchám dojde za dobu jednoho dne u 100 vozidel.

$$n_{PVM} = p(k=1) \cdot 100$$

$$\underline{\underline{n_{PVM} = 2,037}}$$

Z výše uvedeného vztahu tedy vyplývá, že za jeden den dojde u sta vozidel k přibližně dvěma poruchám vozidlového motoru. Stejným způsobem lze zjistit počet kritických poruch na sto vozidel za jeden den, který činí  $n_{KPVM} = 0,064$ .

Poměr mezi poruchami a kritickými poruchami na vozidlovém motoru lze vypočít jako:

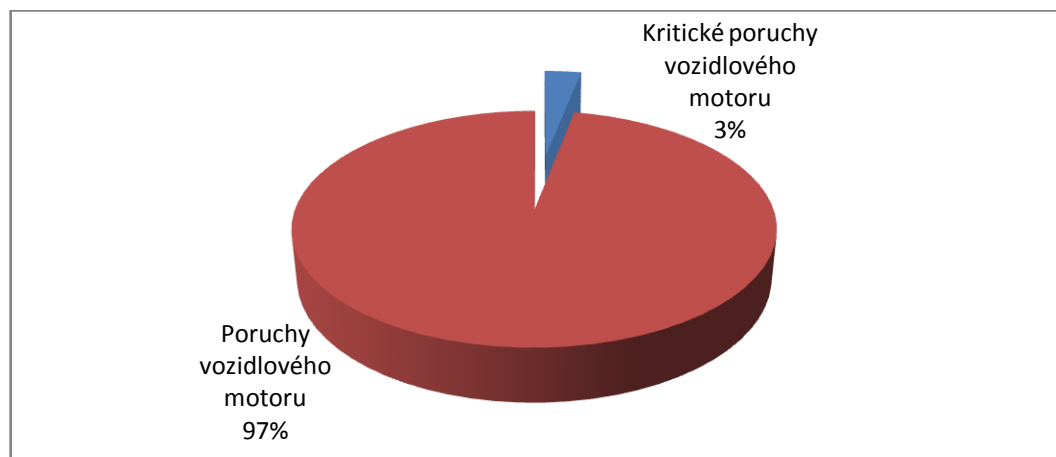
$$i_{VM} = \frac{n_{PVM}}{n_{KPVM}} \quad (3.1)$$



$$i_{VM} = \frac{2,037}{0,064}$$

$$\underline{\underline{i_{VM} = 31,828}}$$

Z tohoto poměru lze vyvodit, že přibližně na třicet dva poruch vozidlového motoru připadá jedna porucha kritická. Na obrázku č. 3.5 je znázorněno procentuální srovnání výskytu těchto poruch.



**Obr. č. 3.5: Procentuální srovnání poruch a kritických poruch vozidlového motoru vozidel Karosa B 932**

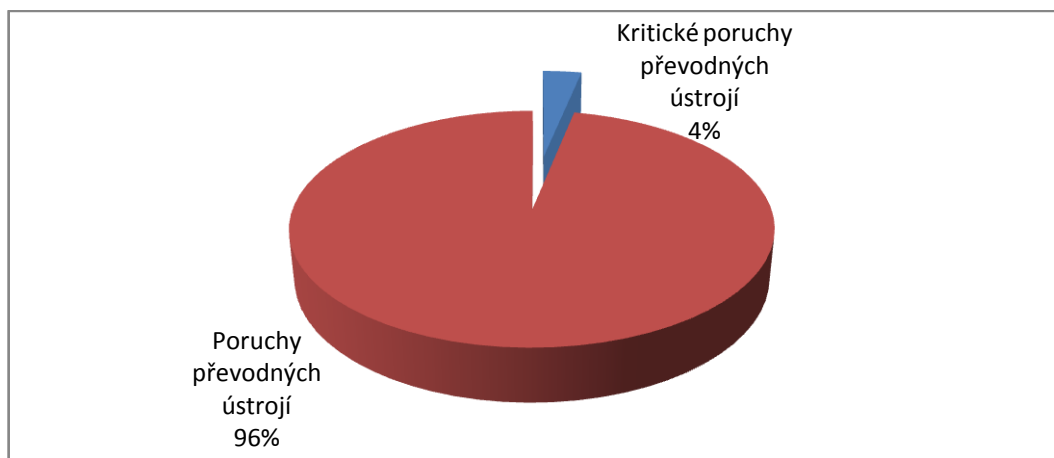
Dle výše uvedeného postupu jsou určeny vzájemné poměry poruch a kritických poruch ostatních vozidlových součástí a získané hodnoty jsou uvedeny v tabulce 3.5.

**Tab. 3.5: Vzájemný poměr poruch a kritických poruch vozidel Karosa B 932**

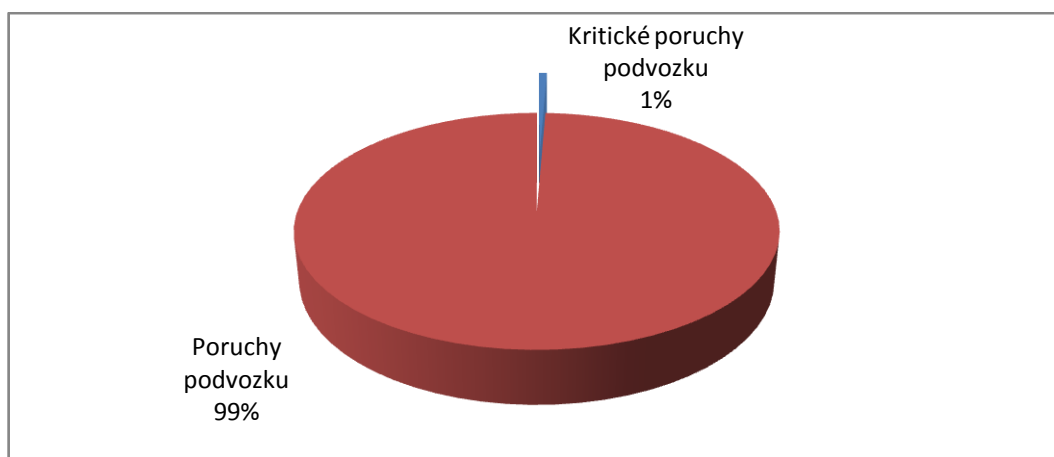
	Počet poruch	Počet kritických poruch	Poměr
<b>Převodná ústrojí</b>	1,1	0,036	30,556
<b>Podvozek</b>	2,766	0,018	153,667
<b>Karoserie</b>	1,447	0,027	53,593
<b>Elektroinstalace</b>	2,098	0,073	28,74

Z tabulky 3.5 vyplývá fakt, že nejvyšší vzájemný poměr nastává u podvozku. U této vozidlové části připadá na jednu poruchu kritickou přibližně 154 poruch, čímž lze prohlásit, že pravděpodobnost okamžitého ukončení provozuschopnosti vozidla z důvodu poruchy na podvozku je v porovnání s ostatními vozidlovými součástmi nejnižší. Druhý nejvyšší poměr se vyskytuje u karoserie, následuje vozidlový motor, převodná ústrojí

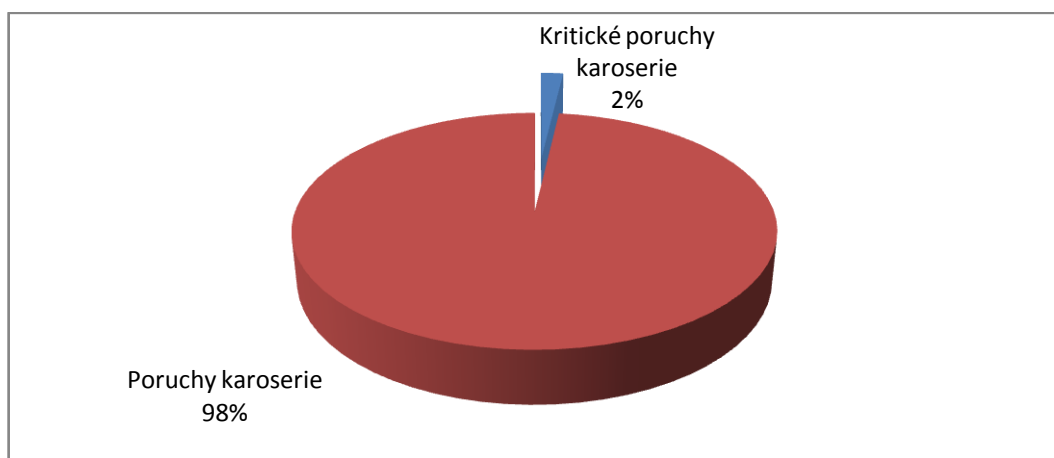
a elektroinstalace. Grafické znázornění jednotlivých vzájemných poměrů je uvedeno na následujících obrázcích č. 3.6, 3.7, 3.8 a 3.9.



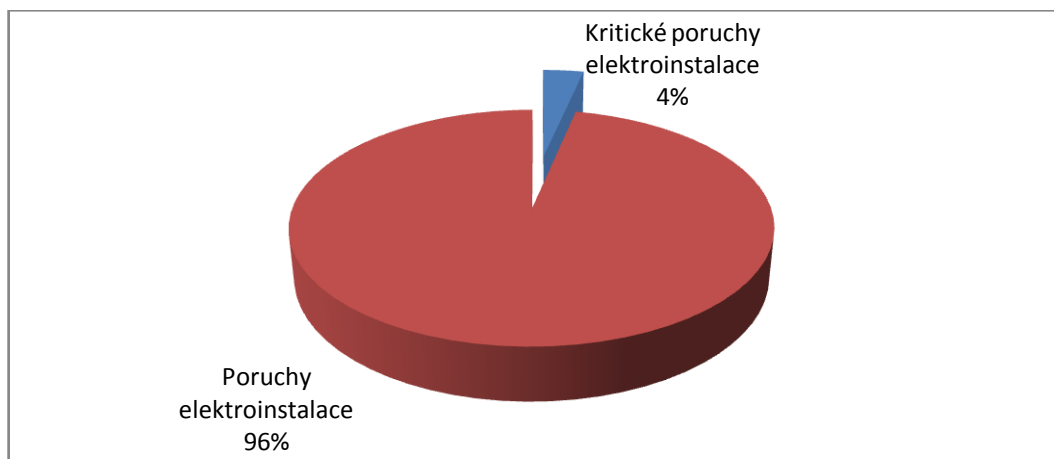
**Obr. č. 3.6: Procentuální srovnání poruch a kritických poruch převodných ústrojí vozidel Karosa B 932**



**Obr. č. 3.7: Procentuální srovnání poruch a kritických poruch podvozku vozidel Karosa B 932**



**Obr. č. 3.8: Procentuální srovnání poruch a kritických poruch karoserie vozidel Karosa B 932**



**Obr. č. 3.9: Procentuální srovnání poruch a kritických poruch elektroinstalace vozidel Karosa B 932**

### 3.2.3 Součinitel pohotovosti

Pohotovost je schopnost objektu být ve stavu schopném plnit požadované funkce v daném časovém okamžiku a v daných podmínkách[3].

Pro výpočet ustáleného součinitele pohotovosti jsou v tabulce 3.6 uvedeny potřebné střední doby obnovy a bezporuchového provozu jednotlivých vozidel.

**Tab. 3.6: Střední doby obnovy a bezporuchového provozu vozidel Karosa B 932**

č. vozidla	2007		2008	
	T <sub>so</sub> [den]	T <sub>sp</sub> [den]	T <sub>so</sub> [den]	T <sub>sp</sub> [den]
1	13	352	2	364
2	6	359	1	365
3	1	364	3	363
4	0	365	28	338
5	99	266	11	355
6	0	365	4	362
7	21	344	11	355
8	10	355	11	355
9	146	219	21	345
10	14	351	9	357
11	43	322	2	364
12	5	360	40	326
13	8	357	5	361
14	8	357	35	331
15	20	345	19	347
<b>Celkem</b>	<b>394</b>	<b>5081</b>	<b>202</b>	<b>5288</b>

Dosažením konkrétních hodnot dob obnovy a bezporuchového provozu do vztahu (2.15) lze určit ustálený součinitel pohotovosti:

$$A = \frac{5081 + 5288}{5081 + 5288 + 394 + 202}$$

$$\underline{\underline{A = 0,946}}$$

Z výše uvedeného výsledku lze stanovit, že v průběhu let 2007 a 2008 byla pohotovost vybraných vozidel Karosa B 932 přibližně 0,946.

### 3.2.4 Srovnání provozu a údržby

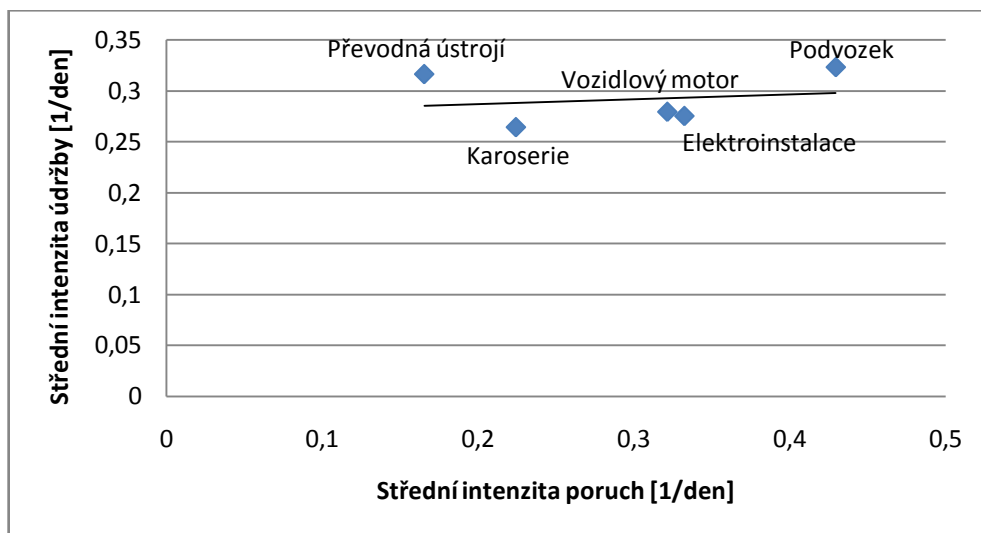
Při tomto porovnání jsou srovnávány střední intenzity poruch jednotlivých vozidlových součástí (zahrnující jak poruchy, tak poruchy kritické) se středními intenzitami údržby, která byla na vozidlech prováděna.

Výše zmíněné střední intenzity byly spočteny dle vztahu (2.10) a jsou uvedeny v tabulce 3.7.

**Tab. 3.7: Střední intenzity poruch a údržby vozidel Karosa B 932**

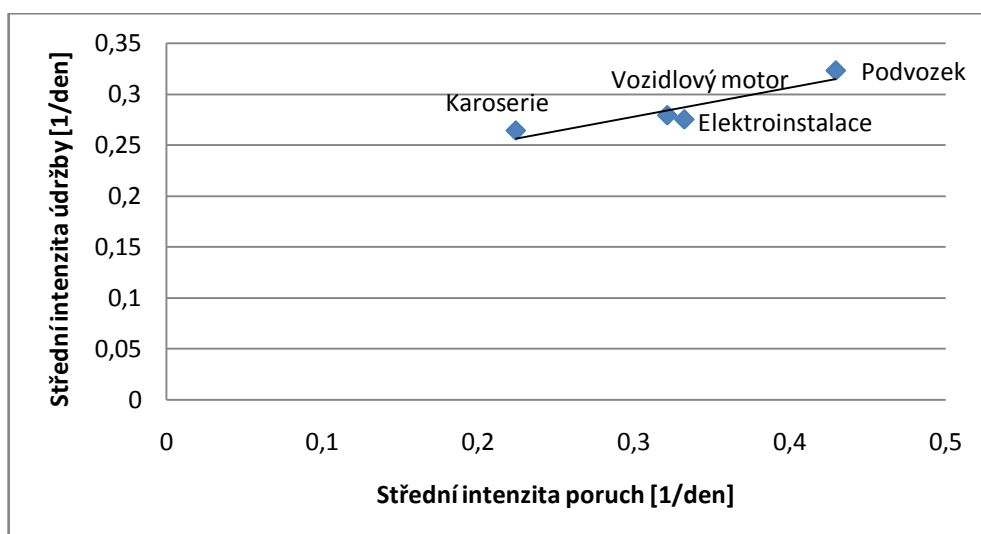
	Počet poruch	Střední intenzita poruch [1/den]	Počet údržbových zásahů	Střední intenzita údržby [1/den]
<b>Vozidlový motor</b>	235	0,321477	204	0,27907
<b>Převodná ústrojí</b>	126	0,172367	231	0,316005
<b>Podvozek</b>	314	0,429549	236	0,322845
<b>Karoserie</b>	164	0,22435	193	0,264022
<b>Elektroinstalace</b>	243	0,332421	201	0,274966

Z důvodu následného srovnání byla střední intenzita poruch a střední intenzita údržby znázorněna graficky na obrázku č. 3.10.



**Obr. č. 3.10: Srovnání středních intenzit poruch a údržby vozidel Karosa B 932**

Následně byl pomocí programu Microsoft Excel vypočten korelační koeficient závislosti střední intenzity poruch a střední intenzity údržby, jehož hodnota činí  $r = 0,209$ . Jak lze však vyčíst z obrázku č. 3.10, převodná ústrojí jsou nejvíce vychýlena od ideálního lineárního průběhu, který je v grafu vyobrazen přímkou.



**Obr. č. 3.11: Srovnání středních intenzit poruch a údržby bez převodných ústrojí vozidel Karosa B 932**

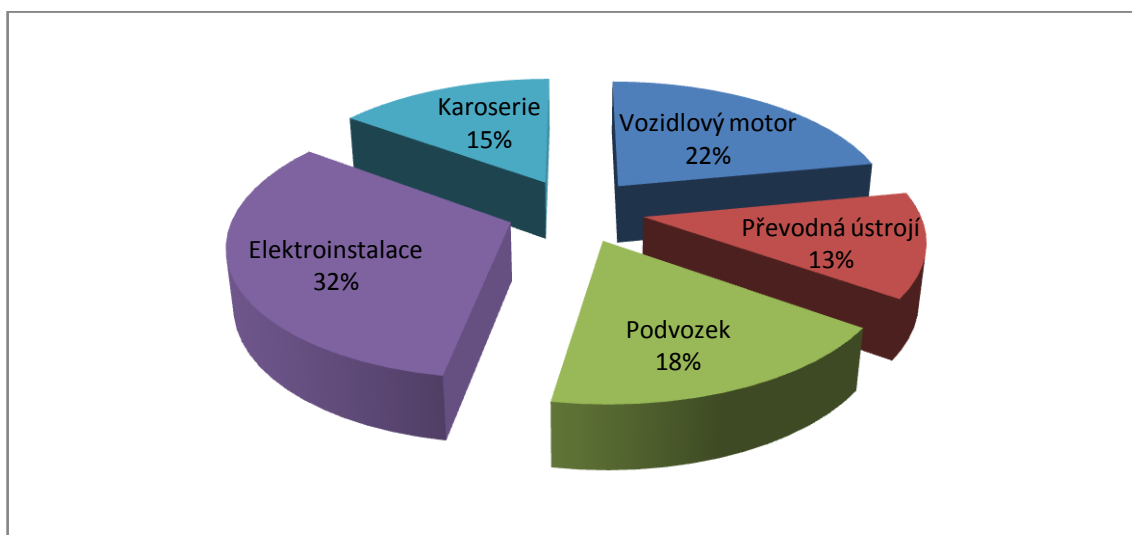
Pokud však spočteme korelační koeficient bez převodných ústrojí, tak jeho hodnota činí  $r' = 0,923$  a ve srovnání s předchozím korelačním koeficientem tato hodnota výrazně vzrostla. Grafické znázornění srovnání středních intenzit poruch a údržby, avšak bez zahrnutí převodných ústrojí, lze vidět na obrázku č. 3.11. Hlavním důvodem zmíněné vychýlenosti je fakt, že střední intenzita poruch je ve srovnání s příslušnou střední intenzitou údržby této součásti výrazně nižší. Tudíž lze konstatovat, že údržba převodných

ústrojí je vzhledem k výskytu poruch v porovnání s ostatními vozidlovými součástmi částečně nadceňována.

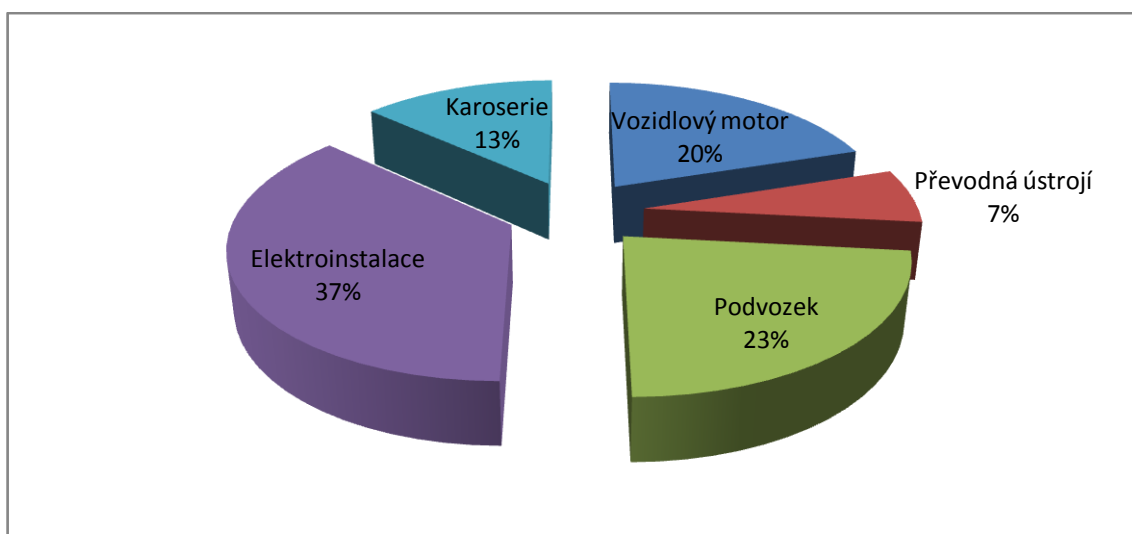
### 3.3 Solaris Urbino 12

#### 3.3.1 Porovnání poruch a kritických poruch

Porovnání poruch a kritických poruch, které se po sledovanou dobu vyskytly na jednotlivých vozidlových součástech, je prováděno obdobným způsobem jako u vozidel Karosa B 932. Procentuelní zastoupení výše zmíněných poruch je uvedeno na obrázcích č. 3.12 a 3.13.



Obr. č. 3.12: Procentuelní zastoupení poruch vozidel Solaris Urbino 12



Obr. č. 3.13: Procentuelní zastoupení kritických poruch vozidel Solaris Urbino 12

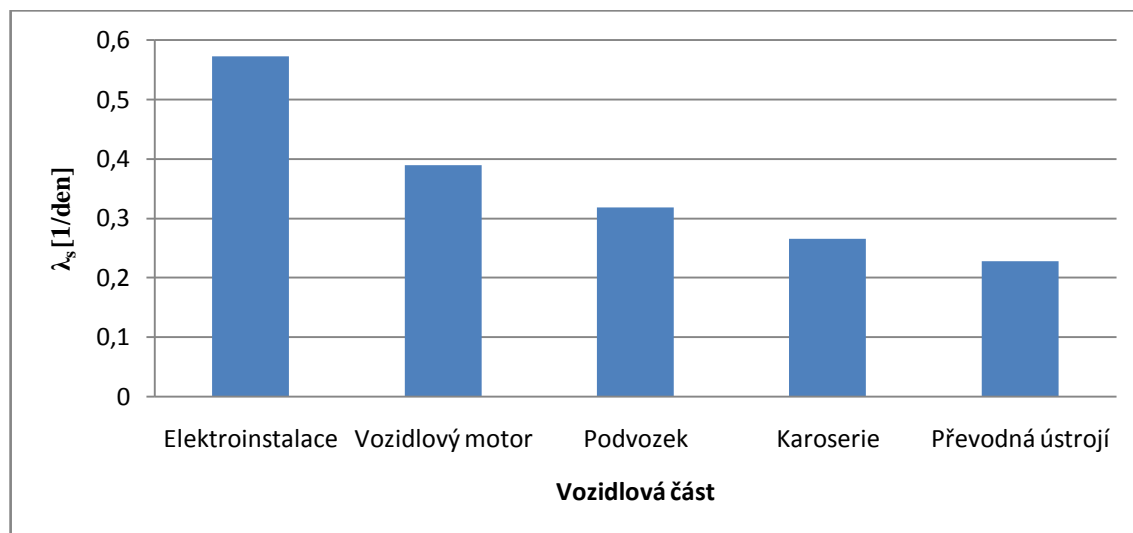
Z výše uvedených obrázků lze vyčíst, že ani u jedné vozidlové součásti nedochází k velmi výraznému procentuálnímu rozdílu mezi poruchami a kritickými poruchami.

Nejvyšší procentuelní zastoupení poruch i kritických poruch je u tohoto typu vozidel u elektroinstalace a tvoří přibližně jednu třetinu z celkového počtu poruch. K největšímu procentuálnímu rozdílu poruch dochází u převodných ústrojí a podvozku, u ostatních vozidlových součástí zůstává zastoupení poruch přibližně stejné.

Dále jsou srovnávány střední intenzity poruch a kritických poruch jednotlivých vozidlových součástí, opět stejným způsobem jako u vozidel Karosa B 932. Příslušné vypočtené hodnoty jsou uvedeny v tabulkách 3.8 a 3.9 a pro přehlednost jsou graficky znázorněny sestupně od nejvyšší po nejnižší hodnotu na obrázcích č. 3.14 a 3.15.

**Tab. 3.8: Počet a střední intenzity poruch vozidel Solaris Urbino 12 za dobu 2 let**

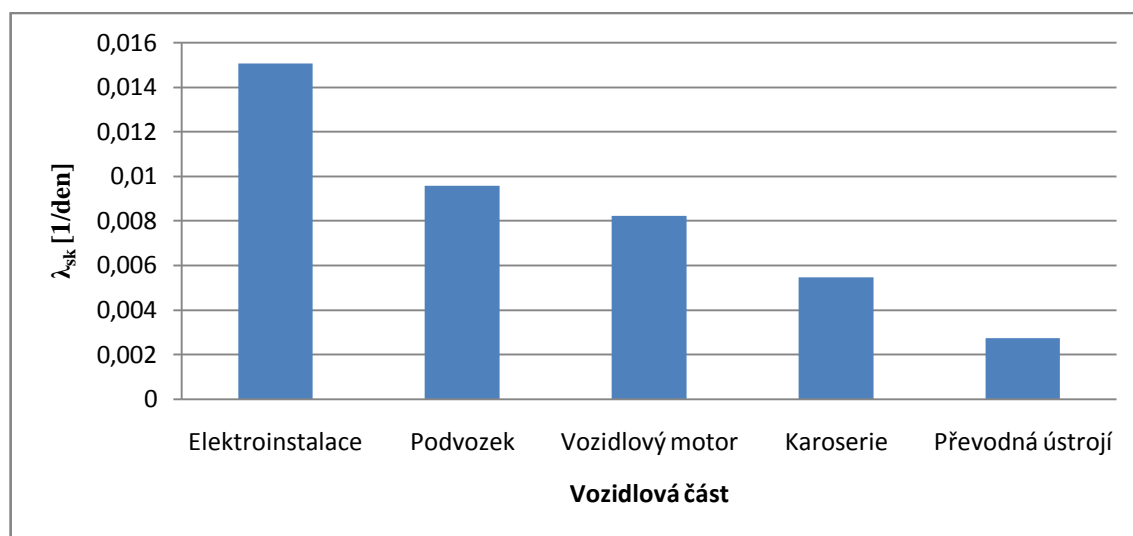
	Počet poruch	Počet poruch na 1 vozidlo	$\lambda_s$ [1/den]
<b>Vozidlový motor</b>	284	18,93	0,388509
<b>Převodná ústrojí</b>	166	11,07	0,227086
<b>Podvozek</b>	232	15,47	0,317373
<b>Karoserie</b>	194	12,93	0,26539
<b>Elektroinstalace</b>	418	27,87	0,571819



**Obr. č. 3.14: Střední intenzity poruch vozidel Solaris Urbino 12**

**Tab. 3.9: Počet a střední intenzity kritických poruch vozidel Solaris Urbino 12 za dobu 2 let**

	Počet krit. poruch	Počet krit. poruch na 1 vozidlo	$\lambda_{sk}$ [1/den]
<b>Vozidlový motor</b>	6	0,4	0,008208
<b>Převodná ústrojí</b>	2	0,13	0,002736
<b>Podvozek</b>	7	0,47	0,009576
<b>Karoserie</b>	4	0,27	0,005472
<b>Elektroinstalace</b>	11	0,73	0,015048



**Obr. č. 3.15: Střední intenzity kritických poruch vozidel Solaris Urbino 12**

### 3.3.2 Srovnání vzájemného poměru poruch a kritických poruch

Výpočet vzájemného poměru mezi poruchami a poruchami kritickými je proveden stejným postupem jako u vozidel Karosa B 932, viz kapitola 3.2.2.

Pomocí Poissonova rozdělení (2.11) a následného využití základní definice pravděpodobnosti (2.1) je vypočten počet poruch a kritických poruch jednotlivých vozidlových součástí, které se vyskytnou u sta vozidel za dobu jednoho dne. Následně je dle vztahu (3.1) vypočten jejich vzájemný poměr, tudíž lze prohlásit kolik poruch připadá na jednu kritickou poruchu dané vozidlové součásti. Jednotlivé spočtené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 3.10.

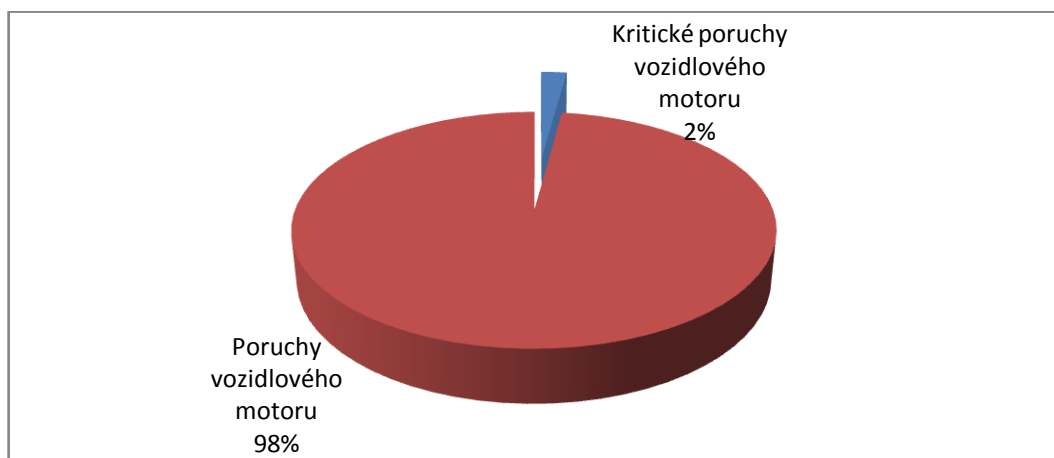


**Tab. 3.10: Vzájemný poměr poruch a kritických poruch vozidel Solaris Urbino 12**

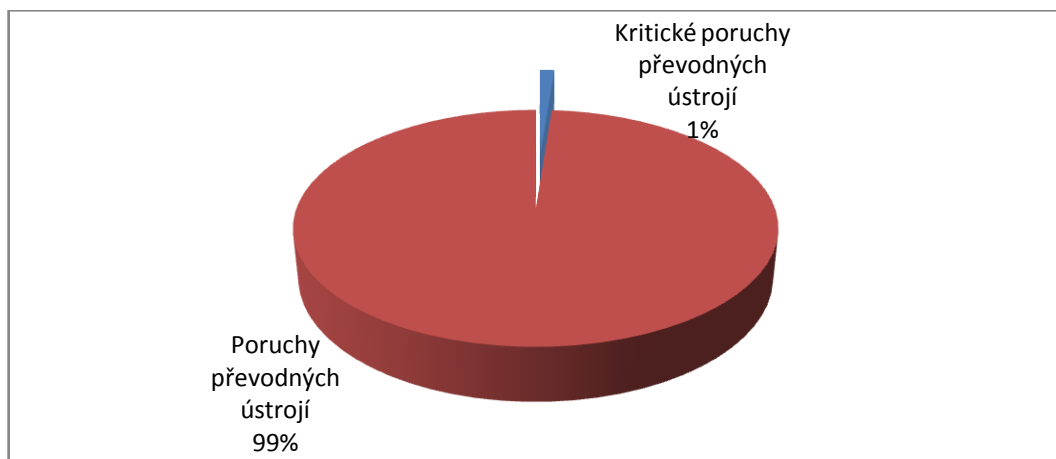
	Počet poruch	Počet kritických poruch	Poměr
<b>Vozidlový motor</b>	2,524	0,055	45,891
<b>Převodná ústrojí</b>	1,491	0,018	82,833
<b>Podvozek</b>	2,072	0,064	32,375
<b>Karoserie</b>	1,738	0,036	48,278
<b>Elektroinstalace</b>	3,67	0,1	36,7

Z výše uvedené tabulky vyplývá, že nejvyšší vzájemný poměr se vyskytuje u převodných ústrojí, kde na jednu kritickou poruchu připadá přibližně 83 poruch. Tudíž k výskytu kritické poruchy a následnému okamžitému ukončení provozuschopnosti vozidla dochází u této vozidlové součásti nejméně častěji. Tento fakt vyplývá ze skutečnosti, že u převodných ústrojí došlo k výskytu nejmenšího počtu poruch i kritických poruch, tudíž střední intenzity používané při výpočtu pomocí Poissonova rozdělení (2.11) jsou v porovnání s ostatními nižší.

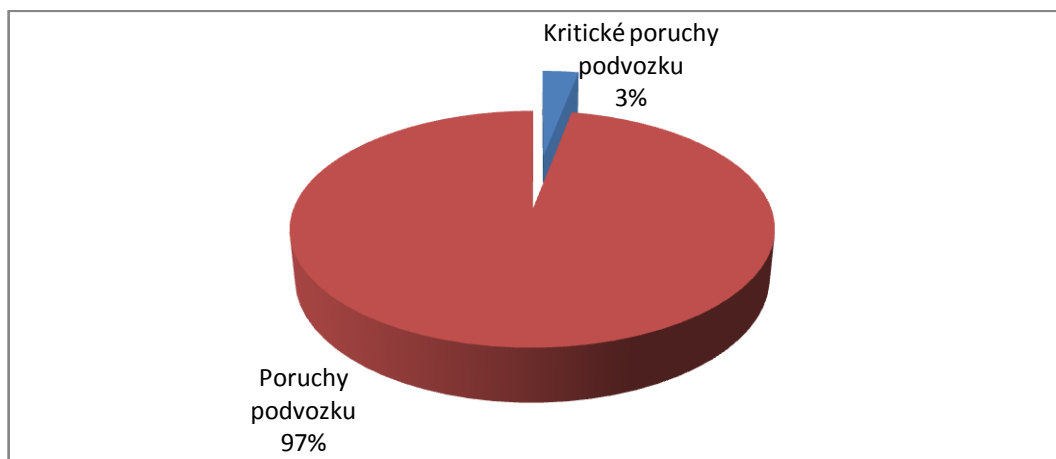
Dále lze prohlásit, že druhý nejvyšší vzájemný poměr se vyskytuje u karoserie, následuje pak vozidlový motor, elektroinstalace a podvozek, u kterého na jednu kritickou poruchu připadne přibližně 32 poruch. Grafické znázornění jednotlivých vzájemných poměrů je uvedeno na obrázcích č. 3.16, 3.17, 3.18, 3.19 a 3.20.



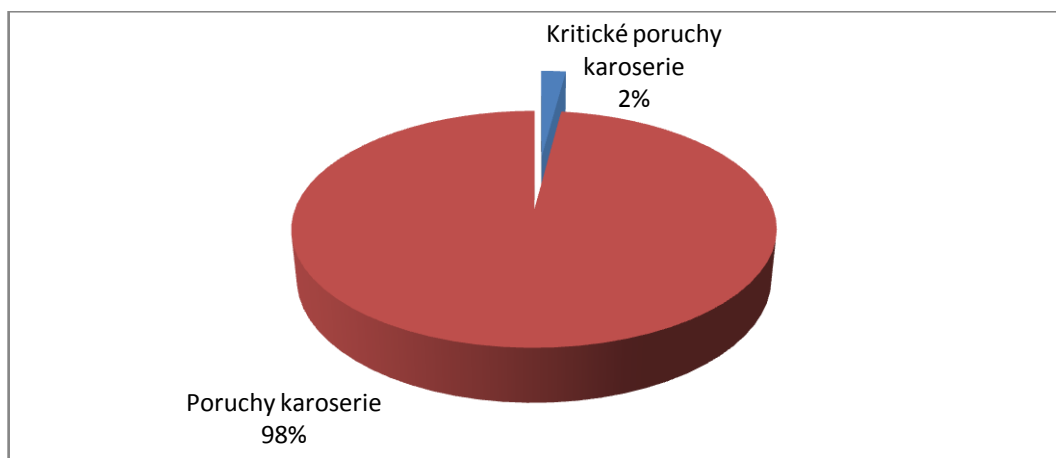
**Obr. č. 3.16: Procentuální srovnání poruch a kritických poruch vozidlového motoru vozidel Solaris Urbino 12**



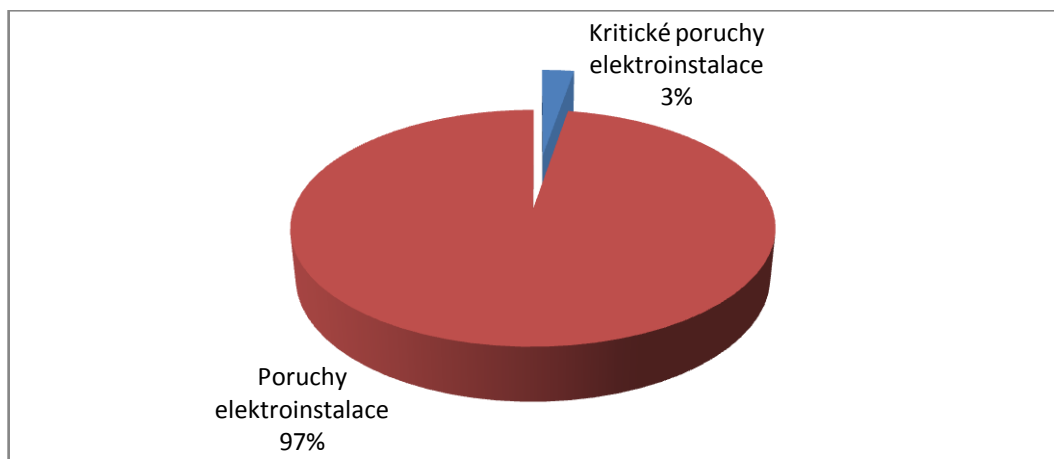
**Obr. č. 3.17: Procentuální srovnání poruch a kritických poruch převodných ústrojí vozidel Solaris Urbino 12**



**Obr. č. 3.18: Procentuální srovnání poruch a kritických poruch podvozku vozidel Solaris Urbino 12**



**Obr. č. 3.19: Procentuální srovnání poruch a kritických poruch karoserie vozidel Solaris Urbino 12**



**Obr. č. 3.20: Procentuální srovnání poruch a kritických poruch elektroinstalace vozidel Solaris Urbino 12**

### 3.3.3 Součinitel pohotovosti

Při výpočtu ustáleného součinitele pohotovosti vozidel Solaris Urbino 12 je vycházeno z tabulky 3.11, ve které jsou uvedeny příslušné střední doby obnovy a bezporuchového provozu.

**Tab. 3.11: Střední doby obnovy a bezporuchového provozu vozidel Solaris Urbino 12**

č. vozidla	2007		2008	
	T <sub>so</sub> [den]	T <sub>sp</sub> [den]	T <sub>so</sub> [den]	T <sub>sp</sub> [den]
1	18	347	8	358
2	48	317	18	348
3	17	348	40	326
4	23	342	19	347
5	22	343	4	362
6	4	361	22	344
7	3	362	7	359
8	1	364	2	364
9	14	351	23	343
10	11	354	4	362
11	4	361	25	341
12	42	323	2	364
13	8	357	26	340
14	20	345	10	356
15	9	356	24	342
<b>Celkem</b>	<b>244</b>	<b>5231</b>	<b>234</b>	<b>5256</b>

Dosazením hodnot uvedených v tabulce 3.11 do vztahu (2.15) získáváme ustálený součinitel pohotovosti pro vybraná vozidla typu Solaris Urbino 12:

$$A = \frac{5231 + 5256}{5231 + 5256 + 244 + 234}$$

$$\underline{\underline{A = 0,956}}$$

Pohotovost vozidel Solaris Urbino 12 v letech 2007 a 2008 činila přibližně 0,956.

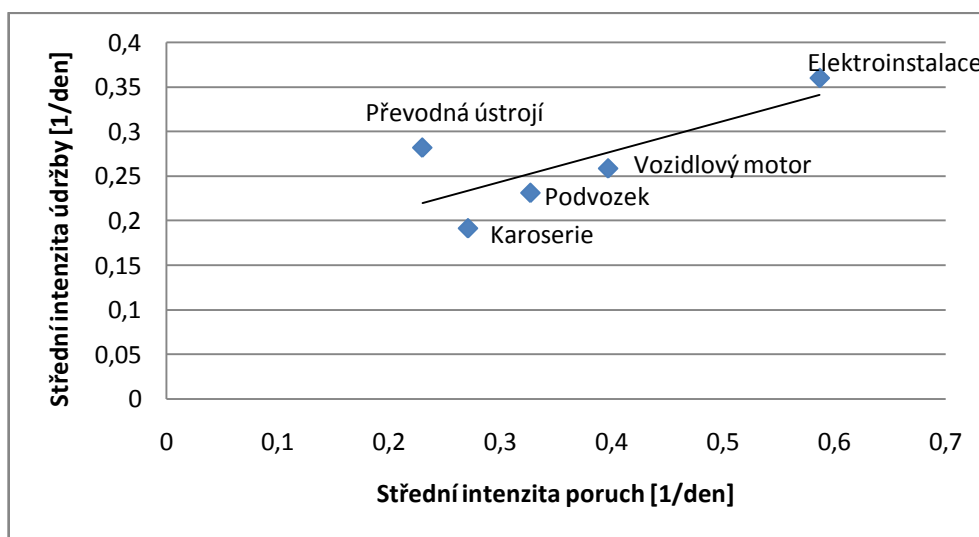
### 3.3.4 Srovnání provozu a údržby

Porovnání provozu a údržby autobusů Solaris Urbino 12 je zpracováno stejným postupem jako srovnání u vozidel Karosa B 932. Potřebné střední intenzity poruch jednotlivých vozidlových součástí a k nim příslušné střední intenzity údržby jsou uvedeny v tabulce 3.12.

**Tab. 3.12: Střední intenzity poruch a údržby vozidel Solaris Urbino 12**

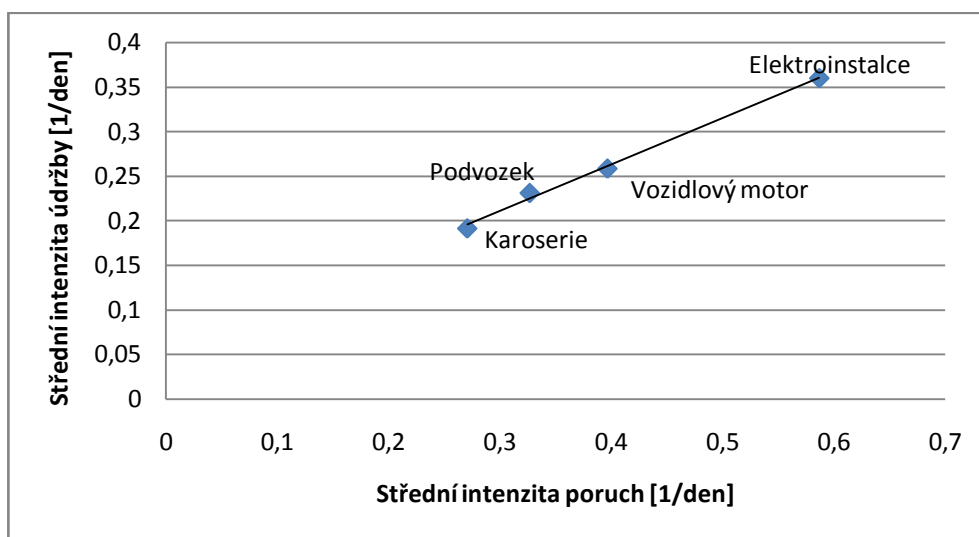
	Počet poruch	Střední intenzita poruch [1/den]	Počet údržbových zásahů	Střední intenzita údržby [1/den]
<b>Vozidlový motor</b>	290	0,396717	189	0,25855
<b>Převodná ústrojí</b>	168	0,229822	206	0,281806
<b>Podvozek</b>	239	0,326949	169	0,23119
<b>Karoserie</b>	198	0,270862	140	0,191518
<b>Elektroinstalace</b>	429	0,586867	263	0,359781

Následně získané hodnoty středních intenzit jsou opět pro názornost a zhodnocení vyobrazeny na obrázku č. 3.21.



**Obr. č. 3.21: Srovnání středních intenzit poruch a údržby vozidel Solaris Urbino 12**

Z obrázku č. 3.21 vyplývá fakt, že převodná ústrojí jsou opět nejvíce vychýlena od ideálního lineárního průběhu. Korelační koeficient v tomto případě nabývá hodnoty  $r = 0,757$ . Vyloučíme-li však z toho výpočtu vliv převodných ústrojí, stoupne tato hodnota na  $r' = 0,998$ , čímž lze dokázat výše zmiňovanou vychýlenost. Na obrázku č. 3.22 je vyobrazena vzájemná závislost středních intenzit poruch a údržby, avšak bez převodných ústrojí.



**Obr. č. 3.22 Srovnání středních intenzit poruch a údržby bez převodných ústrojí vozidel Solaris Urbino 12**

Ve srovnání s ostatními vozidlovými součástmi lze říci, že pouze u převodných ústrojí je střední intenzita údržby vyšší než příslušná střední intenzita poruch. Kdežto u zbytku součástí je tomu přesně naopak. Lze tedy opět prohlásit, že údržba převodných ústrojí je mírně nadhodnocována oproti údržbě ostatních vozidlových součástí, tak jako u vozidel Karosa B 932.

### 3.4 Náklady na údržbu

Celkové náklady, které byly vynaloženy na údržbu jednotlivých typů vybraných vozidel, jsou složeny z nákladů na plánované prohlídky a také na všechny ostatní neplánované opravy. Do těchto nákladů jsou započteny materiál a náhradní díly, které byly při dané činnosti použity, a také hodiny, které zaměstnanci při dané opravě na vozidle strávili. Z těchto celkových nákladů jsou následně určeny střední náklady na údržbu jednoho vozidla daného typu.

### 3.4.1 Náklady na údržbu vozidel Karosa B 932

Získané náklady na údržbu vozidel Karosa B 932 jsou uvedeny v tabulce 3.13.

**Tab. 3.13: Náklady na údržbu vozidel Karosa B 932**

č. vozidla	Náklady na plánované prohlídky [Kč]		Náklady na neplánované opravy [Kč]	
	2007	2008	2007	2008
1	8 965,03	19 211,64	154 234,09	102 765,50
2	6 973,39	30 603,73	89 463,86	97 327,96
3	15 799,88	14 029,49	160 934,94	148 169,31
4	16 369,42	37 339,36	83 850,19	156 362,35
5	18 957,52	71 786,71	111 381,93	219 421,94
6	15 170,46	21 328,93	131 326,80	116 424,09
7	17 535,59	25 421,76	94 544,96	69 441,13
8	19 945,99	27 818,20	194 775,29	217 267,67
9	18 505,88	60 895,13	162 245,25	187 636,22
10	17 789,70	43 423,72	99 035,81	131 659,88
11	20 266,74	24 321,96	190 234,94	103 327,54
12	35 733,27	43 056,28	253 394,76	337 391,40
13	19 202,85	19 329,00	168 116,47	130 801,09
14	40 108,39	43 250,98	162 345,38	300 628,77
15	40 460,78	30 490,04	208 996,76	230 886,19
<b>Celkem</b>	311 784,90	512 306,93	2 264 881,42	2 549 511,01

Náklady na plánované prohlídky, získané součtem nákladů za roky 2007 a 2008 činily 824 091,83 Kč. Dále pak náklady na neplánovanou údržbu, resp. opravy, jsou stanoveny na 4 814 392,43 Kč. Tudíž celkové náklady činí 5 638 484,26 Kč. Po následném podělení počtem srovnávaných vozidel získáme fakt, že střední náklady na plánované prohlídky činí 54 939,46 Kč, střední náklady na neplánovanou údržbu 320 959,5 Kč a celkové náklady vynaložené na jedno vozidlo typu Karosa B 932 jsou stanoveny na hodnotu 375 898,95 Kč. Pro přehlednost jsou jednotlivé náklady uvedeny v tabulce 3.14.

**Tab. 3.14: Přehled jednotlivých nákladů vozidel Karosa B 932**

Celkové náklady na plánovanou údržbu	824 091,83 Kč
Celkové náklady na neplánované opravy	4 814 392,43 Kč
Celkové náklady	5 638 484,26 Kč
Střední náklady na plánovanou údržbu	54 939,46 Kč
Střední náklady na neplánované opravy	320 959,50 Kč
Střední náklady	375 898,95 Kč

Z výše stanovených hodnot lze zjistit, že výraznou část financí tvoří náklady na neplánovanou údržbu. Mezi nejnákladnější opravy, které byly na daných vozidlech prováděny, lze zmínit opravy motoru (např. výměny vstřikovacích čerpadel, trysek, opravy mazacích systémů a chladicí soustavy atd.), brzdové soustavy (např. výměny brzdových kotoučů, brzdových bubnů apod.), elektroinstalace (např.: výměny startérů a alternátorů) a podvozku (např. výměny vzduchových měchů pérování, regulačních ventilů atd.). Při srovnání nákladů na pravidelné prohlídky prováděné v závislosti na kilometrickém proběhu lze prohlásit, že mezi nejnákladnější patří plánovaná prohlídka typu P6, která je prováděna vždy po ujetí 60 000 kilometrů. Tato skutečnost vychází z faktu, že daná prohlídka je časově i materiálově nejnáročnější, je při ní prováděno největší množství opravárenských úkonů a také je vykonána komplexní údržba vozidla.

### 3.4.2 Náklady na údržbu vozidel Solaris Urbino 12

Získané náklady na údržbu vozidel Solaris Urbino 12 jsou uvedeny v tabulce 3.15.

**Tab. 3.15: Náklady na údržbu vozidel Solaris Urbino 12**

č. vozidla	Náklady na plánované prohlídky [Kč]		Náklady na neplánované opravy [Kč]	
	2007	2008	2007	2008
<b>1</b>	15 864,34	29 696,44	178 232,79	115 056,56
<b>2</b>	15 501,11	22 520,17	123 736,57	192 761,76
<b>3</b>	33 973,75	33 532,32	237 056,31	171 447,64
<b>4</b>	14 577,21	45 355,26	308 253,81	247 211,67
<b>5</b>	13 381,27	27 032,53	172 493,77	139 975,33
<b>6</b>	34 106,96	31 231,55	108 114,56	146 897,99
<b>7</b>	27 399,95	34 949,95	103 777,73	226 184,79
<b>8</b>	30 589,57	19 867,23	98 717,56	130 397,45
<b>9</b>	14 908,73	22 009,32	67 418,00	111 501,41
<b>10</b>	37 055,59	39 689,04	98 089,44	144 658,97
<b>11</b>	27 111,52	49 128,16	147 814,69	262 772,78
<b>12</b>	28 698,08	34 086,55	147 245,40	104 890,91
<b>13</b>	26 531,60	33 013,99	135 044,88	80 567,83
<b>14</b>	23 662,15	23 858,97	89 454,76	120 893,14
<b>15</b>	20 040,53	29 491,78	98 479,84	110 782,82
<b>Celkem</b>	363 402,37	475 463,26	2 113 930,12	2 306 001,02

Určení nákladů na údržbu je provedeno stejným postupem jako v kapitole 3.4.1. Tudíž náklady vynaložené na plánované prohlídky činily 838 865,63 Kč, náklady na

neplánovanou údržbu 4 419 913,14 Kč a celkové náklady 5 258 796,77 Kč. Po následném přepočtu na jeden vůz daného typu získáváme střední náklady na plánované prohlídky, které činí 55 924,38 Kč, střední náklady na neplánovanou údržbu 294 662,08 Kč a následně pak celkové střední náklady jsou stanoveny na hodnotu 350 586,45 Kč. Pro přehlednost jsou výše zmíněné náklady uvedeny v tabulce 3.16.

**Tab. 3.16: Přehled jednotlivých nákladů vozidel Solaris Urbino 12**

Celkové náklady na plánovanou údržbu	838 865,63 Kč
Celkové náklady na neplánované opravy	4 419 931,14 Kč
Celkové náklady	5 258 796,77 Kč
Střední náklady na plánovanou údržbu	55 924,38 Kč
Střední náklady na neplánované opravy	294 662,08 Kč
Střední náklady	350 586,45 Kč

Z výše uvedených finančních nákladů lze opět prohlásit, že převážnou část tvoří náklady vynaložené na neplánované opravy, čili opravy po poruše. Jako nejvíce časté a zároveň nákladné opravy, které bylo nutno u vybraných vozidel provést, se jeví opravy elektroinstalace (především výměny řídících jednotek, termostatů, alternátorů, ventilátorů front-boxu apod.), brzdové soustavy (výměna brzdových kotoučů a obložení), podvozku (výměna vzduchových měchů pérování) a karoserie (výměny čelních skel, dveřních válců apod.). Při pohledu na vynaložené finanční prostředky na plánovanou údržbu, se opět jako nejnákladnější jeví pravidelná prohlídka typu P6, která je prováděna při ujetí 60 000 kilometrů. Množství vykonávaných údržbových zásahů je opět dosti vysoké, podobně jako u vozidel Karosa B 932.

### 3.4.3 Srovnání nákladů na údržbu

Pro srovnání nákladů, které byly vynaloženy na daná vozidla, byl použit statistický nástroj ANOVA, který je součástí programu Microsoft Excel. Informace o tomto statistickém nástroji byly získány z [1].

Tato analýza testuje hypotézu, která předpokládá, že jednotlivé výběry pocházejí ze stejného rozdělení pravděpodobnosti a je označována jako nulová hypotéza  $H_0$ . Naopak alternativní hypotéza  $H_1$  následně předpokládá, že základní rozdělení pravděpodobnosti není u všech výběrů stejné. Analýza byla provedena na datech uvedených v tabulce 3.17. Celkové náklady na jedno vozidlo byly získány sečtením nákladů na plánovanou údržbu a na neplánované opravy.



**Tab. 3.17: Celkové náklady na vozidla**

č. vozidla	Celkové náklady Karosa B 932 [Kč]	Celkové náklady Solaris Urbino 12 [Kč]
1	285 176,26	338 850,13
2	224 368,94	354 519,61
3	338 933,62	476 010,02
4	293 921,32	615 397,95
5	421 548,10	352 882,91
6	284 250,28	320 351,06
7	206 943,44	392 312,42
8	459 807,15	279 571,81
9	429 282,48	215 837,46
10	291 909,11	319 493,04
11	338 151,18	486 827,14
12	669 575,71	314 920,94
13	337 449,41	275 158,30
14	546 333,52	257 869,02
15	510 833,76	258 794,97

Z výše uvedených hodnot bylo poté statistickým nástrojem ANOVA spočteny údaje uvedené v tabulce 3.18:

**Tab. 3.18: ANOVA**

Faktor					
<i>Výběř</i>	<i>Počet</i>	<i>Součet</i>	<i>Průměr</i>	<i>Rozptyl</i>	
Karosa B 932	15	5638484,3	375898,95	1,655E+10	
Solaris Urbino 12	15	5258796,8	350586,45	1,11E+10	
ANOVA					
<i>Zdroj variability</i>	<i>SS</i>	<i>Rozdíl</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Hodnota P</i> <i>F krit</i>
Mezi výběřy	4,805E+09	1	4,805E+09	0,3476434	0,5601783
Všechny výběřy	3,87E+11	28	1,382E+10		
Celkem	3,918E+11	29			

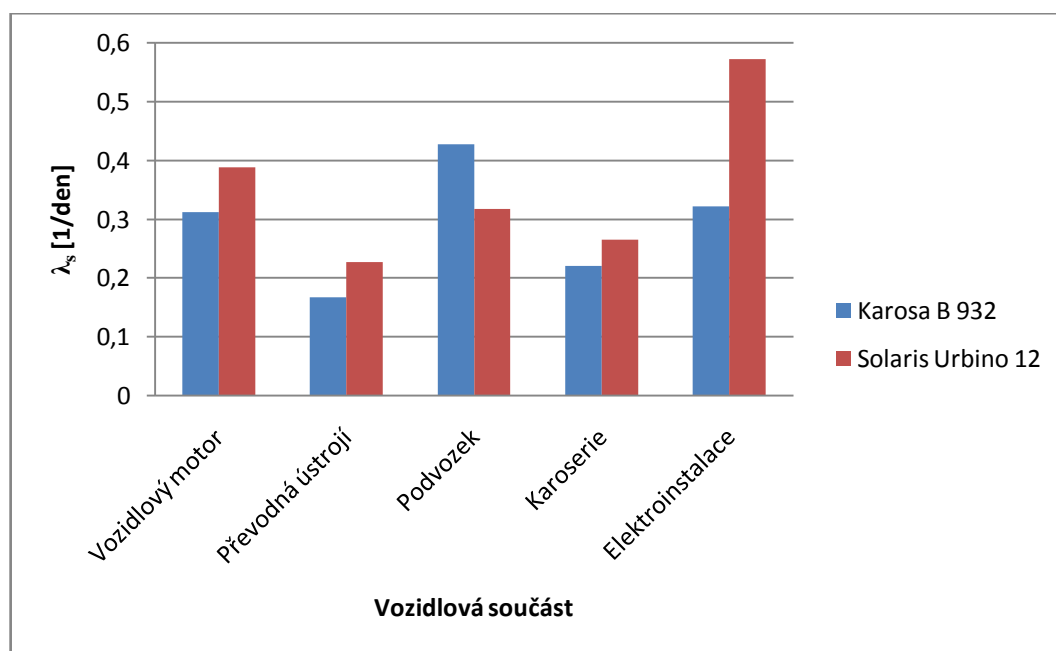
Hodnota P-value činí přibližně 0,56 a jelikož hodnota  $F$  je nižší než hodnota  $F_{\text{krit}}$  (viz tab. 3.18), lze prohlásit, že na hladině významnosti  $\alpha = 0,1$  nulovou hypotézu nezamítáme. Tudíž je možno dále tvrdit, že není statisticky významný rozdíl mezi oběma výběry, z čehož následně vyplývá, že není statisticky významný rozdíl v nákladech na údržbu vozidel Karosa B 932 a Solaris Urbino 12.

## 4. Technické a ekonomické hodnocení získaných spolehlivostních charakteristik

V této kapitole budou zhodnoceny získané spolehlivostní charakteristiky podle ekonomického a technického hlediska. Jedná se zejména o posouzení bezporuchovosti, provozu a údržby, pohotovosti a nákladů vynaložených na údržbu zvolených typů vozidel po sledované období let 2007 a 2008.

### 4.1 Hodnocení bezporuchovosti

Bezporuchovost, jakožto jedna z významných spolehlivostních charakteristik, byla v této práci hodnocena pomocí středních intenzit poruch a kritických poruch jednotlivých vozidlových součástí. Pro porovnání středních intenzit poruch bylo použito grafické znázornění vyobrazené na obrázku č. 4.1.

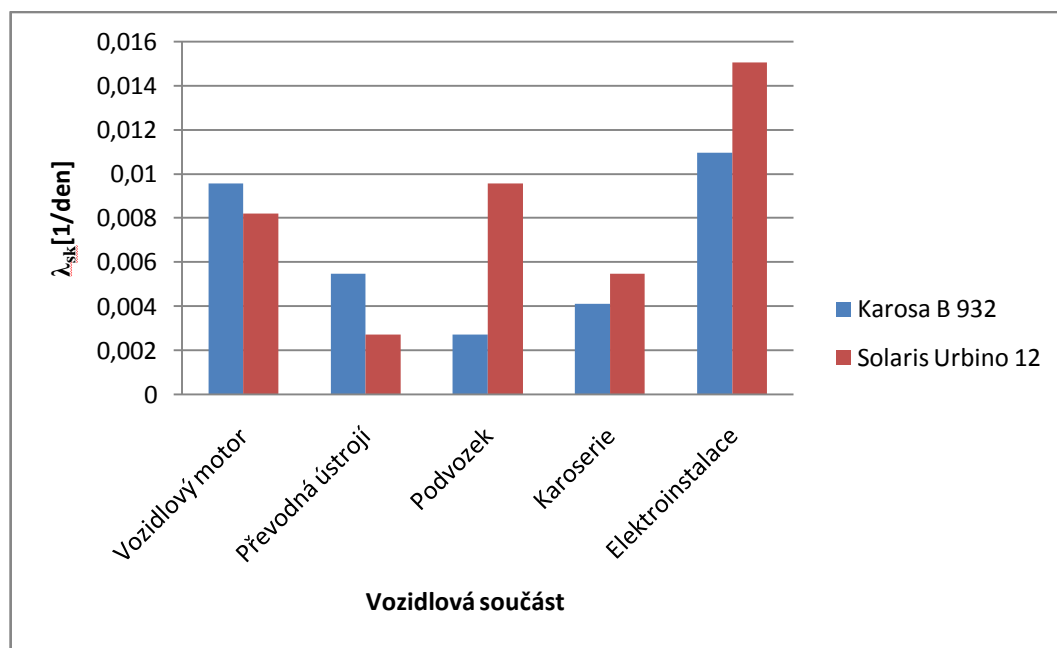


Obr. č. 4.1: Srovnání středních intenzit poruch

Z výše uvedeného grafu lze jednoznačně vyčíst, že střední intenzita poruch jednotlivých vozidlových součástí vyjma podvozku je u autobusů Solaris v porovnání s vozidly Karosa vyšší. Největší vzájemný rozdíl však nastává u elektroinstalace, která je pro vozidla Solaris velice poruchová, tudíž bezporuchovost této vozidlové součásti je v porovnání s ostatními nejhorší.

U autobusů Karosa B 932 se nejvyšší střední intenzita poruch vyskytuje u podvozku, tudíž lze říci, že tato součást má s ohledem na ostatní vozidlové součásti tohoto autobusu nejnižší hodnotu bezporuchovosti. Naopak nejvyšší hodnota bezporuchovosti se u tohoto typu vozidla jednoznačně vyskytuje u převodných ústrojí.

Porovnání středních intenzit kritických poruch je provedeno stejným způsobem jako předchozí srovnání a je znázorněno na obrázku č. 4.2.



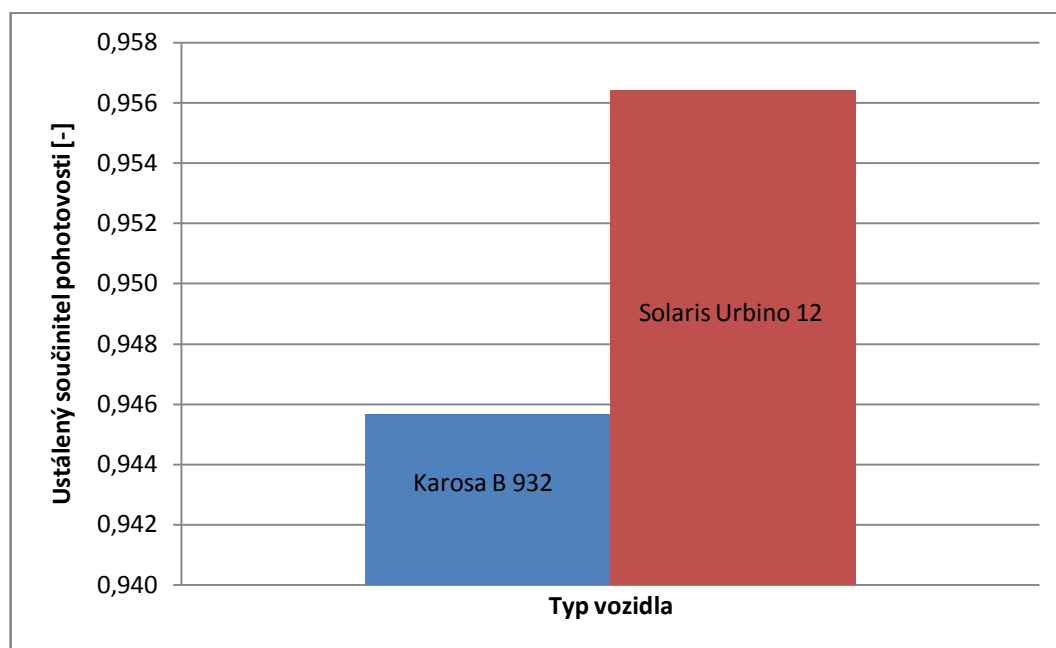
**Obr. č. 4.2: Srovnání středních intenzit kritických poruch**

V případě kritických poruch a k nim vypočtených středních intenzit se u obou zvolených typů vozidel vyskytují nejvyšší hodnoty u elektroinstalace, tudíž tato součást má nejnižší hodnotu bezporuchovosti. Největší vzájemný rozdíl v hodnotách středních intenzit se vyskytuje u podvozku, u kterého vozidla Karosa vykazují mnohem vyšší bezporuchovost než autobusy Solaris. Nejvyšší bezporuchovost je pak dosažena u již zmíněného podvozku vozidel Karosa a převodných ústrojí vozidel Solaris.

## 4.2 Hodnocení pohotovosti

Pohotovost zvolených typů vozidel byla hodnocena pomocí ustáleného součinitele pohotovosti. Z vypočtených hodnot je zřejmé, že pohotovost vozidel Solaris Urbino 12 je o 0,01 vyšší než vozidel Karosa B 932, tudíž pravděpodobnost výskytu bezporuchového stavu je u vozidel Solaris vyšší.

Ačkoliv autobusy Solaris Urbino 12 měly oproti vozidlům Karosa B 932 vyšší celkový počet poruch, které se za sledované období na daných vozidlech vyskytly, mají vyšší ustálený součinitel pohotovosti. Tato skutečnost je převážně zapříčiněna kratší dobou obnovy těchto vozidel a zároveň také nižší závažností vyskytlých poruch. Grafické vyhodnocení ustáleného součinitele pohotovosti je uvedeno na obrázku č. 4.3.



**Obr. č. 4.3: Grafické zhodnocení ustáleného součinitele pohotovosti**

### 4.3 Hodnocení provozu a údržby

Při hodnocení provozu a údržby byly srovnávány střední intenzity poruch jednotlivých vozidlových součástí se středními intenzitami údržby. Následně byla mezi nimi hledána pomocí korelace vzájemná závislost, která byla vyjádřena korelačním koeficientem, jakožto mírou korelace.

U obou typů posuzovaných autobusů došlo k situaci, kdy z grafického znázornění výše zmíněných intenzit (viz obrázky č. 3.10 a 3.21) byla zřejmá vychýlenost převodných ústrojí od ideálního lineárního průběhu. Tento fakt byl také dokázán výpočtem korelačního koeficientu, který byl v obou případech poměrně nízký (pro vozidla Karosa B 932 činila tato hodnota  $r = 0,209$ , pro Solaris Urbino 12 bylo  $r = 0,757$ )

Z tohoto důvodu byla převodná ústrojí z výpočtu vyňata a zbylé hodnoty středních intenzit byly opět vykresleny do grafů (viz obrázky č. 3.11 a 3.22), z nichž lze vyčíst výrazně nižší odchýlenost od ideálního lineárního průběhu. Při následném přepočtu

se hodnoty korelačního koeficientu pro oba zvolené typy vozidel podstatně zvýšily, pro Karosu B 932 na hodnotu  $r' = 0,923$  a u vozidel Solaris Urbino 12 na  $r' = 0,998$ , u kterých lze říci, že se jedná téměř o lineární závislost jednotlivých středních intenzit poruch a údržby.

Zmiňovaná vychýlenost převodných ústrojí je daná skutečností, že příslušná střední intenzita údržby je výrazně vyšší, než střední intenzita poruch. Avšak u ostatních vozidlových součástí je tomu naopak. Z tohoto poznatku tudíž vyplývá, že u obou typů autobusů je údržba převodných ústrojí vzhledem k výskytu poruch v porovnání s ostatními vozidlovými součástmi částečně nadceňována.

#### **4.4 Hodnocení nákladů na údržbu**

Z hlediska plánované údržby bylo vynaloženo menší množství finančních prostředků na vozidla Karosa B 932, avšak jedná se o poměrně dosti malý peněžní rozdíl. Je-li přepočten tento rozdíl na jedno vozidlo, čili jsou určeny střední náklady na plánovanou údržbu jednoho autobusu, lze následně říci, že na plánované prohlídky jednoho vozidla Solaris Urbino 12 bylo vynaloženo o 984,92 Kč více, než na jedno vozidlo Karosa B 932.

Při srovnání nákladů na neplánovanou údržbu, čili na opravy po poruše, bylo naopak použito menší množství financí na autobusy Solaris Urbino 12. V tomto případě je však rozdíl vynaložených peněžních prostředků oproti druhému typu srovnávaných vozidel podstatně znatelnější, v přepočtu na jeden autobus činí 26 297,42 Kč. Hlavní důvod byl shledán ve výskytu méně závažných poruch autobusů Solaris, jejichž odstranění bylo následně méně náročné jak z hlediska ceny použitých náhradních dílů, tak i z celkového stráveného času na opravu.

Z výše uvedeného popisu tudíž vyplývá, že i celkové vynaložené náklady na plánovanou i neplánovanou údržbu vybraných autobusů Karosa jsou vyšší než na vozidla Solaris.

Dané náklady na údržbu a opravy vozidel byly následně porovnány pomocí statistického nástroje ANOVA a bylo zjištěno, že neexistuje statisticky významný rozdíl v nákladech na údržbu vozidel Karosa B 932 a Solaris Urbino 12 (viz kapitola 3.4.3).

## 4.5 Závěr

V závěru této práce jsou shrnuty získané spolehlivostní charakteristiky zvolených typů autobusů:

- nejvyšší intenzita poruch i poruch kritických se vykytuje u vozidel Solaris Urbino 12, a to u elektroinstalace, tudíž tato vozidlová součást má nejnižší hodnotu bezporuchovosti (viz kapitola 4.1),
- pohotovost vozidel Solaris Urbino 12 je o jednu setinu vyšší než u vozidel Karosa B 932 (viz kapitola 4.2),
- z hlediska srovnání provozu a údržby nastává situace, kdy u obou posuzovaných typů vozidel je částečně nadhodnocována údržba převodných ústrojí oproti ostatním vozidlovým součástem (viz kapitola 4.3),
- z hlediska porovnání celkových nákladů na údržbu bylo vynaloženo větší množství finančních prostředků na vozidla Karosa B 932, avšak z hlediska statistiky neexistuje mezi náklady na údržbu obou typů autobusů statisticky významný rozdíl (viz kapitola 3.4.3 a 4.4).

## 5. Seznam použité literatury

- [1] Briš, R.; Litschmannová, M. Statistika I [online]. 2004 [cit. 4. 4. 2010]. ANOVA - Analýza rozptylu. Dostupné na WWW: <<http://www.am.vsb.cz/bris/>>.
- [2] Dopravní podnik Ostrava a.s., autobusové středisko Hranečnick, systém řízení údržby Korund. [cit. 11.1.2010]
- [3] Famfulík, J. Teorie údržby. VŠB – TU Ostrava, 2006. 136 s. ISBN 80-248-1029-8.
- [4] Charakteristika Urbino – Solaris Bus & Coach [online], [cit. 5. 2. 2010]. Dostupné na WWW: <<http://www.solarisbus.pl/cz/urbino.html>>.
- [5] Karosa B 932 – Wikipedie, otevřená encyklopedie [online], [cit. 5. 2. 2010]. Dostupné na WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Karosa\\_B\\_932](http://cs.wikipedia.org/wiki/Karosa_B_932)>.
- [6] Korelace – Wikipedie, otevřená encyklopedie [online], [cit. 25. 2. 2010]. Dostupné na WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Korelace>>.
- [7] Pravděpodobnost a statistika [online], [cit. 25. 2. 2010]. Dostupné na WWW: <<http://homen.vsb.cz/~oti73/cdpast1/>>.
- [8] Solaris Urbino 12 – Wikipedie, otevřená encyklopedie [online], [cit. 5. 2. 2010]. Dostupné na WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Solaris\\_Urbino\\_12](http://cs.wikipedia.org/wiki/Solaris_Urbino_12)>.

## 6. Seznam obrázků

Obr. č. 1.1: Přehled vozidlového parku podle typu.....	11
Obr. č. 1.2: Průměrné stáří jednotlivých typů vozidel.....	13
Obr. č. 1.3: Počet vozidel podle roku uvedení do provozu .....	14
Obr. č. 1.4: Rozměrový náčrtek vozidla Karosa B 932.....	16
Obr. č. 1.5: Rozměrový náčrtek vozidla Solaris Urbino 12.....	18
Obr. č. 2.1: Pravděpodobnostní funkce Poissonova rozdělení s parametrem $\lambda=1$ .....	24
Obr. č. 2.2: Pravděpodobnostní funkce Poissonova rozdělení s parametrem $\lambda=5$ .....	24
Obr. č. 2.3: Graf průběhu hustoty pravděpodobnosti pro $\lambda=0,2$ .....	25
Obr. č. 2.4: Graf průběhu hustoty pravděpodobnosti pro $\lambda=1$ .....	25
Obr. č. 2.5: Korelační koeficient $r=1$ .....	27
Obr. č. 2.6: Korelační koeficient $r=-1$ .....	27
Obr. č. 2.7: Korelační koeficient $r=0$ .....	27
Obr. č. 3.1: Procentuelní zastoupení poruch vozidel Karosa B 932 .....	29
Obr. č. 3.2: Procentuelní zastoupení kritických poruch vozidel Karosa B 932.....	30
Obr. č. 3.3: Střední intenzity poruch vozidel Karosa B 932.....	31
Obr. č. 3.4: Střední intenzity kritických poruch vozidel Karosa B 932 .....	32
Obr. č. 3.5: Procentuální srovnání poruch a kritických poruch vozidlového motoru vozidel Karosa B 932.....	33
Obr. č. 3.6: Procentuální srovnání poruch a kritických poruch převodných ústrojí vozidel Karosa B 932.....	34
Obr. č. 3.7: Procentuální srovnání poruch a kritických poruch podvozku vozidel Karosa B 932 .....	34
Obr. č. 3.8: Procentuální srovnání poruch a kritických poruch karoserie vozidel Karosa B 932 .....	34
Obr. č. 3.9: Procentuální srovnání poruch a kritických poruch elektroinstalace vozidel Karosa B 932.....	35
Obr. č. 3.10: Srovnání středních intenzit poruch a údržby vozidel Karosa B 932.....	37
Obr. č. 3.11: Srovnání středních intenzit poruch a údržby bez převodných ústrojí vozidel Karosa B 932.....	37
Obr. č. 3.12: Procentuelní zastoupení poruch vozidel Solaris Urbino 12 .....	38
Obr. č. 3.13: Procentuelní zastoupení kritických poruch vozidel Solaris Urbino 12 .....	38
Obr. č. 3.14: Střední intenzity poruch vozidel Solaris Urbino 12.....	39
Obr. č. 3.15: Střední intenzity kritických poruch vozidel Solaris Urbino 12 .....	40



Obr. č. 3.16: Procentuální srovnání poruch a kritických poruch vozidlového motoru vozidel Solaris Urbino 12 .....	41
Obr. č. 3.17: Procentuální srovnání poruch a kritických poruch převodných ústrojí vozidel Solaris Urbino 12 .....	42
Obr. č. 3.18: Procentuální srovnání poruch a kritických poruch podvozku vozidel Solaris Urbino 12 .....	42
Obr. č. 3.19: Procentuální srovnání poruch a kritických poruch karoserie vozidel Solaris Urbino 12 .....	42
Obr. č. 3.20: Procentuální srovnání poruch a kritických poruch elektroinstalace vozidel Solaris Urbino 12 .....	43
Obr. č. 3.21: Srovnání středních intenzit poruch a údržby vozidel Solaris Urbino 12 .....	44
Obr. č. 3.22 Srovnání středních intenzit poruch a údržby bez převodných ústrojí vozidel Solaris Urbino 12 .....	45
Obr. č. 4.1: Srovnání středních intenzit poruch .....	50
Obr. č. 4.2: Srovnání středních intenzit kritických poruch.....	51
Obr. č. 4.3: Grafické zhodnocení ustáleného součinitele pohotovosti .....	52

## 7. Seznam tabulek

Tab. 1.1: Přehled vozidlového parku podle typu .....	11
Tab. 1.2: Průměrné stáří jednotlivých typů vozidel .....	12
Tab. 1.3: Počet vozidel podle roku uvedení do provozu .....	14
Tab. 1.4: Základní technické parametry vozidel Karosa B 932.....	16
Tab. 1.5: Základní technické parametry vozidel Solaris Urbino 12 .....	17
Tab. 3.1: Vstupní data systému Korund – náhodný výběr .....	28
Tab. 3.2: Seznam vybraných údržbových zásahů .....	29
Tab. 3.3: Počet a střední intenzity poruch vozidel Karosa B 932 za dobu 2 let .....	31
Tab. 3.4: Počet a střední intenzity kritických poruch vozidel Karosa B 932 za dobu 2 let.	31
Tab. 3.5: Vzájemný poměr poruch a kritických poruch vozidel Karosa B 932 .....	33
Tab. 3.6: Střední doby obnovy a bezporuchového provozu vozidel Karosa B 932.....	35
Tab. 3.7: Střední intenzity poruch a údržby vozidel Karosa B 932 .....	36
Tab. 3.8: Počet a střední intenzity poruch vozidel Solaris Urbino 12 za dobu 2 let.....	39
Tab. 3.9: Počet a střední intenzity kritických poruch vozidel Solaris Urbino 12 za dobu 2 let .....	40
Tab. 3.10: Vzájemný poměr poruch a kritických poruch vozidel Solaris Urbino 12 .....	41
Tab. 3.11: Střední doby obnovy a bezporuchového provozu vozidel Solaris Urbino 12....	43
Tab. 3.12: Střední intenzity poruch a údržby vozidel Solaris Urbino 12 .....	44
Tab. 3.13: Náklady na údržbu vozidel Karosa B 932 .....	46
Tab. 3.14: Přehled jednotlivých nákladů vozidel Karosa B 932.....	46
Tab. 3.15: Náklady na údržbu vozidel Solaris Urbino 12 .....	47
Tab. 3.16: Přehled jednotlivých nákladů vozidel Solaris Urbino 12 .....	48
Tab. 3.17: Celkové náklady na vozidla .....	49
Tab. 3.18: ANOVA .....	49